



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**OPTIMASI KOORDINASI PROTEKSI RELE ARAH ARUS
LEBIH PADA SISTEM DISTRIBUSI MESH DENGAN
PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN ALGORITMA
GENETIKA**

Muhammad Khairul Hakimi
NRP 2213106059

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS

Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

**OPTIMAL PROTECTION COORDINATION OF
DIRECTIONAL OVERCURRENT RELAYS FOR MESHED
DISTRIBUTION SYSTEMS WITH DISTRIBUTED
GENERATION USING GENETIC ALGORITHM**

Muhammad Khairul Hakimi
NRP 2213106059

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**OPTIMASI KOORDINASI PROTEKSI RELE ARAH ARUS
LEBIH PADA SISTEM DISTRIBUSI MESH DENGAN
PEMBANGKIT TERSEBAR MENGGUNAKAN ALGORITMA
GENETIKA**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

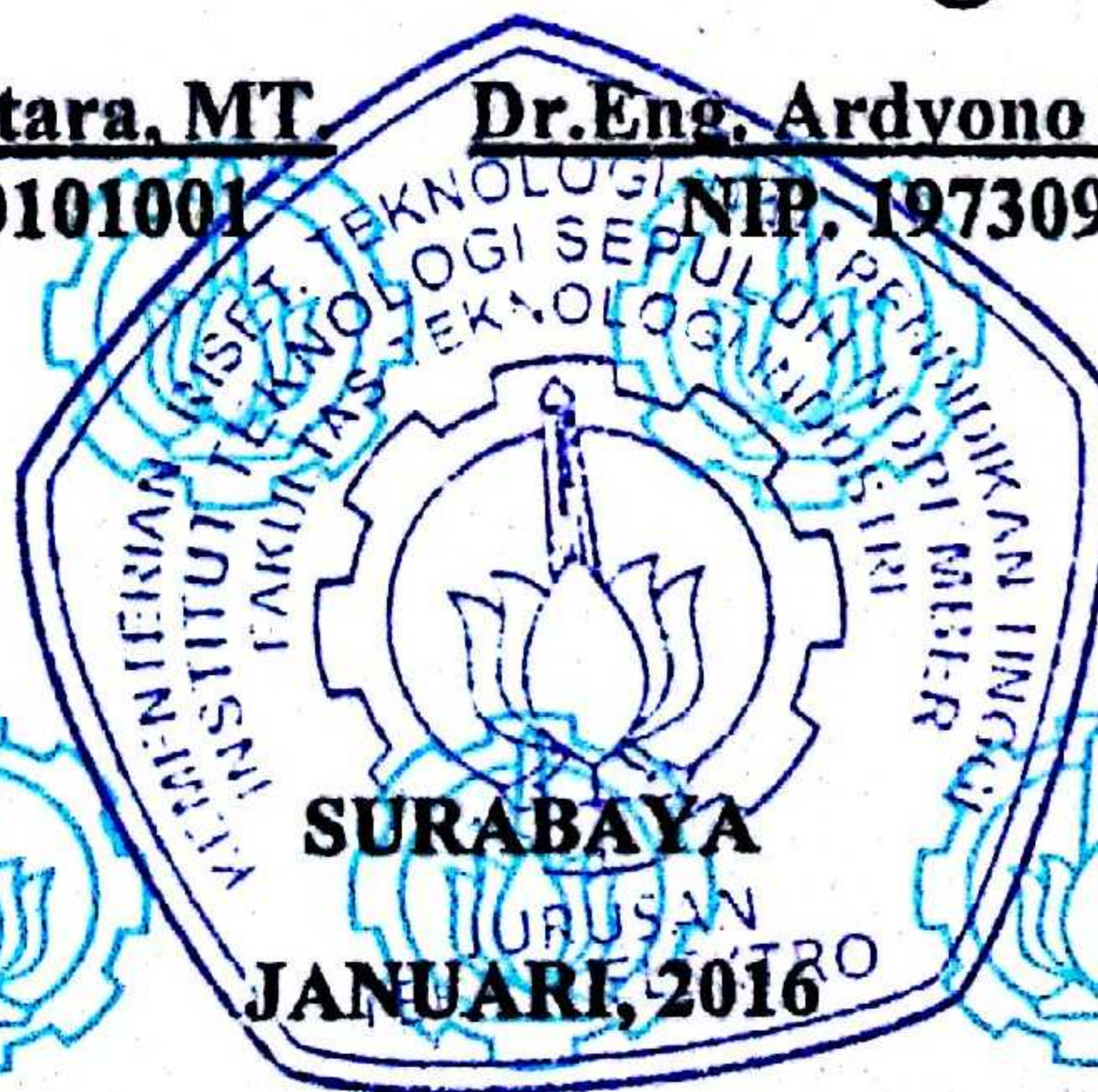
Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Ir. Margo Pujiانتارا, MT.
NIP. 196603181990101001

Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng
NIP. 197309271998031004



Optimasi Koordinasi Proteksi Rele Arah Arus Lebih pada Sistem Distribusi Mesh dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Algoritma Genetika

Nama : Muhammad Khairul Hakimi
Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Pembimbing II : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Dalam Sebuah sistem tenaga yang sering terjadi saling terinterkoneksi kondisi abnormal (seperti: *overload*, *overvoltage*, *overcurrent*, *dsb*). Karenanya, gangguan pada sumber dan peralatan yang terhubung sering terjadi kerusakan. Dalam hal ini, komponen yang terkena gangguan harus segera diidentifikasi dan diisolasi untuk menjamin *supply* terpenuhi dan menjaga stabilitas sistem, untuk itu dibutuhkanlah proteksi yang handal. Disamping itu, dengan adanya injeksi *distributed generator*, umumnya mempengaruhi sistem proteksi yang ada pada sistem tenaga listrik. Kendala yang terjadi dalam mengoordinasikan sistem proteksi yang handal terletak pada waktu operasi yang sangat berdekatan antara rele *primer* yang ada pada suatu bus dengan rele *primer* lainnya serta rele *backup* yang merupakan *backup* dari rele *primer* tersebut. *Plant* IEEE dengan 8-Bus merupakan bentuk jaringan distribusi *mesh*, dimana *plant* tersebut sangat sulit atau kompleks untuk menentukan sistem proteksinya dibandingkan dengan jaringan radial. Berdasarkan *plant* tersebut dibuat *single line diagram* sistem distribusi *mesh* 8 bus, 14 rele arah arus lebih, 2 unit pembangkit, dan 1 pembangkit tersebar. Dari permasalahan tersebut diperlukanlah sebuah penyelesaian yang optimal dan tepat. Hasil dari analisa, *directional overcurrent relay* bekerja berdasarkan 2 kondisi yaitu *forward* dan *reverse*, hal tersebut tergambar dalam penentuan rele utama dan rele *backup*. Optimasi yang dilakukan dengan menggunakan *genetic algorithm* mempunyai nilai total waktu operasi primer sebesar 9,3317 detik. Metode *genetic algorithm* dapat digunakan untuk menala parameter rele arah arus lebih sehingga didapatkan koordinasi rele arah arus lebih yang optimal.

Kata kunci : *Genetic Algorithm*, Rele Arah Arus Lebih, Sistem Jaringan Mesh

***Optimal Protection Coordination of Directional Overcurrent Relays
for Meshed Distribution Systems with Distributed Generation Using
Genetic Algorithm***

Name : Muhammad Khairul Hakimi
Advisor I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T.
Advisor II : Dr. Eng. Ardyono Priyadi, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

In a power system that often occurs interconnected abnormal conditions (such as: overload, overvoltage, overcurrent, etc.). Therefore, interference with the source and connected equipment damage often occurs. In this case, the components are exposed to disturbances must be identified and isolated to ensure supply and maintain the stability of the system is met, for it needed a reliable protection. In addition, with the injection of distributed generators, generally affecting the existing system of protection of the power system. Obstacles that occur in the coordinate system lies in the reliable protection operation time is very close between the primary relay is on a bus with other primary relay and relay back-up which is a back-up of the primary relay. IEEE plant with 8-Bus is a form of mesh distribution network, where the plant is very difficult or complex to determine the system of protection compared with radial network. The plant is based on the single line diagram made mesh distribution system 8 bus, 14 relay direction of overcurrent, 2 generating units, and 1 distributed generation. Of a solution to these problems requires the optimal and appropriate. Results of the analysis, Directional overcurrent relay work on two conditions, namely forward and reverse, it is reflected in the determination of the main relay and relay backups. Optimization by using a genetic algorithm has a total value of primary time operation for 9,3317 seconds. Methods of genetic algorithm can be used to tune the parameters overcurrent relay direction to obtain the coordination of overcurrent relay optimal direction.

Keywords : Genetic algorithm, Directional Overcurrent relay, Mesh network system.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Robbil ‘Alamin, fapuji serta syukur penulis ucapkan atas kehadiran ALLAH SWT yang telah banyak memberikan nikmat dari nikmat sehat dan nikmat ilmu sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini, yang berjudul : **“Optimasi Koordinasi Rele Arah Arus Lebih Pada Sistem Distribusi Mesh dengan Pembangkit Tersebar Menggunakan Algoritma Genetika”**.

Semoga Tugas akhir ini dapat memberikan informasi dan manfaat bagi pembaca pada umumnya serta mahasiswa jurusan teknik elektro. Adapun beberapa pihak yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua Orang tua, bapak Ir. Zainal Abidin dan ibu Darjah, SH yang telah banyak memberikan perhatian serta dukungan baik dalam doa maupun semangatnya.
2. Bapak Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT., selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberi banyak ilmu dan arahan, semoga bapak sehat selalu dan diberi keberkahan ilmu.
3. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST, M. Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro – ITS serta dosen pembimbing 2 yang telah mengajarkan serta memberi banyak ilmu kepada penulis, semoga selalu sehat dan diberi keberkahan ilmunya.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Elektro – ITS, yang telah banyak memberikan ilmu serta motivasi dalam masa perkuliahan.
5. Teman-teman seperjuangan TA, Lintas Jalur angkatan 2013 Genap yang telah banyak memberikan masukan serta mengenalkan banyak hal yang baik, sukses selalu kawan-kawan.
6. Adik-adik tercinta, Apin mita, dan Tazkiatun Nisa yang selalu memberikan semangat.
7. Teman-teman kontrakan, diefa, danar, tiyan, azfar, febrian, bang fadli, bambang, nurio, herman terima kasih untuk hari-harinya.

Dalam menyusun tugas akhir ini, penulis berharap semoga nantinya tugas akhir ini bermanfaat jikapun ada kekurangan, saran serta kritik penulis harapkan. Terima kasih.

Surabaya, Januari 2016

Muhammad Khairul Hakimi

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Permasalahan.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
1.7 Relevansi	4
 BAB II DASAR TEORI	 5
2.1 Sistem Jaringan Distribusi Mesh	5
2.2 Proteksi Dalam Sistem Tenaga Listrik	6
2.3 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	6
2.3.1 Gangguan beban lebih.....	6
2.3.2 Gangguan Tegangan Lebih	7
2.3.3 Gangguan Hubung Singkat	7
2.3.3.1 <i>Gangguan Simetri</i>	7
2.3.3.2 <i>Gangguan Asimetri</i>	8
2.3.4 Rumus Perhitungan Arus Hubung Singkat.....	11
2.4 Rele Arus lebih	11
2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers	12
2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan	12
2.4.3 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers dan Instan	13
2.4.4 Koordinasi Rele Arus dan Waktu	15
2.5 <i>Directional Overcurrent</i>	15
2.6 <i>Distributed Generation</i>	15
2.6.1 Tipe DG.....	16
2.7 Algoritma Genetika	18

2.7.1	Pembangkitan Populasi Awal	19
2.7.2	Seleksi Alam	19
2.7.3	Pasangan	20
2.7.4	Perkawinan	20
2.7.5	Mutasi	21
2.7.6	Generasi	22
BAB III	PERANCANGAN SISTEM	23
3.1	Sistem Kelistrikan Distribusi Mesh	23
3.2	Algoritma untuk Menentukan Pasangan Rele Utama dan <i>Backup</i> [7]	26
3.3	Optimasi Koordinasi Proteksi Menggunakan <i>Genetic Algorithm</i>	28
BAB IV	HASIL SIMULASI DAN ANALISIS	33
4.1	Analisis Hubung Singkat	33
4.2	Arus Kontribusi Hubung Singkat pada Tiap rele	33
4.2.1	Arus Kontribusi Minimum	34
4.2.2	Arus Kontribusi Maksimum dengan DG	36
4.3	Koordinasi Proteksi Sebelum Menggunakan Algoritma Genetika	39
4.3.1	Koordinasi Proteksi dengan DG	41
4.4	Penerapan Algoritma Genetika Dalam Koordinasi Proteksi	41
4.5	Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Proteksi dengan Menggunakan Algoritma Genetika	42
BAB V	PENUTUP	51
5.1	Kesimpulan	51
5.2	Saran	51
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN		I
RIWAYAT HIDUP		V

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Jaringan Mesh	5
Gambar 2.2 Fasor Diagram Gangguan Simetri	8
Gambar 2.3 (a) Komponen Urutan Positif; (b) Komponen Urutan Negatif; (c) Komponen Urutan Nol	8
Gambar 2.4 Diagram Fasor Penjumlahan Komponen Simetri	9
Gambar 2.5 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Invers	12
Gambar 2.6 Kurva Karakteristik Invers dengan Instan	13
Gambar 2.7 Kurva Karakteristik Waktu Operasi Arus Lebih.....	13
Gambar 2.8 <i>Basic Directional Element Reverse and Forward</i>	15
Gambar 2.9 Klasifikasi <i>Distributed Generation</i>	17
Gambar 2.10 <i>Flowchart Continuous Genetic Algorithm</i> [4]	22
Gambar 3.1 <i>Single Line Diagram</i> dengan DG	24
Gambar 3.2 <i>Single Line Diagram</i> tanpa DG	25
Gambar 3.3 <i>Single Line Diagram</i> IEEE 8-Bus.....	26
Gambar 3.4 <i>Flowchart</i> Algoritma Genetika untuk Koordinasi Proteksi	29
Gambar 4.1 Diagram Plot Rele 1 dan Rele 6.....	45
Gambar 4.2 Diagram Plot Rele 4 dan Rele 3.....	46
Gambar 4.3 Diagram Plot Rele 11 dan Rele 12.....	47
Gambar 4.4 Diagram Plot Rele 1 dan Rele 6 dengan GA	48
Gambar 4.5 Diagram Plot Rele 4 dan Rele 3 dengan GA	49
Gambar 4.6 Diagram Plot Rele 11 dan Rele 12 dengan GA	50

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Koefisien Invers <i>Time Dial</i>	14
Tabel 2.2 Teknologi <i>Distributed Generation</i>	18
Tabel 2.3 Contoh Populasi Awal dengan Populasi 8, Kromosom dan Harga (<i>Cost</i>).....	20
Tabel 2.4 Contoh Kromosom yang Masih Bertahan Setelah dilakukan Seleksi 50%.....	20
Tabel 3.1 Data Generator	23
Tabel 3.2 Data Transformator	23
Tabel 3.3 Data <i>Distributed Generator</i>	23
Tabel 3.4 Data Beban pada Bus	24
Tabel 3.5 Data Saluran	25
Tabel 3.6 Pasangan Rele Utama dan Rele <i>Backup</i>	28
Tabel 4.1 Arus Hubung Singkat Setiap Bus	33
Tabel 4.2 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 1	34
Tabel 4.3 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 2.....	34
Tabel 4.4 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 3.....	34
Tabel 4.5 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 4.....	34
Tabel 4.6 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 5.....	34
Tabel 4.7 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 6.....	35
Tabel 4.8 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 1 .	35
Tabel 4.9 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 2 .	35
Tabel 4.10 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 3 ...	35
Tabel 4.11 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 4 ...	35
Tabel 4.12 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 5 ...	36
Tabel 4.13 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 6 ...	36
Tabel 4.14 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 1	36
Tabel 4.15 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 2	36
Tabel 4.16 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 3	37
Tabel 4.17 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 4	37

Tabel 4.18 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 5	37
Tabel 4.19 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 6	37
Tabel 4.20 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 1	38
Tabel 4.21 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 2	38
Tabel 4.22 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 3	38
Tabel 4.23 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 4	38
Tabel 4.24 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 5	38
Tabel 4.25 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 6	39
Tabel 4.26 Tap <i>Setting</i>	39
Tabel 4.27 Waktu Operasi Rele Sebelum GA.....	40
Tabel 4.28 Pasangan Rele Tiap Gangguan pada Saluran	41
Tabel 4.29 Waktu Operasi Rele Menggunakan GA.....	43
Tabel 4.30 Perbandingan Waktu Operasi Primer GA dan Manual	44

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Dalam Sebuah sistem tenaga yang saling terinterkoneksi kondisi abnormal (seperti : *overload*, *overvoltage*, *overcurrent*, *dsb*) sering terjadi. Karenannya, gangguan pada dan sumber dan peralatan yang terhubung sering terjadi kerusakan. Dalam hal ini, komponen yang terkena gangguan harus segera diidentifikasi dan diisolasi untuk menjamin supply terpenuhi dan menjaga stabilitas sistem, untuk itu dibutuhkanlah proteksi yang handal, agar tercapainya selektivitas dari pengaman tersebut tanpa mengorbankan sensitivitas dan kecepatan kerja rele menangani gangguan [1].

Kendala yang terjadi dalam mengoordinasikan sistem proteksi yang handal terletak pada waktu operasi yang sangat berdekatan antara rele primer yang ada pada suatu bus dengan relay primer lainnya serta rele back-up yang merupakan back-up dari relay primer tersebut. Sebuah sistem mesh atau sistem multi-*loop*, arah gangguan baik forward/reverse harus diperhitungkan. Plant IEEE dengan 8-Bus merupakan bentuk jaringan distribusi mesh, dimana plant tersebut sangat sulit atau kompleks untuk menentukan sistem proteksinya dibandingkan dengan jaringan radial.

Penggunaan rele yang tepat diperlukan, jenis rele yang digunakan untuk sistem mesh/multi-*loop* ini adalah *directional overcurrent relay* (DOCR), rele ini mampu mendeteksi datangnya arah gangguan dan memblokir arah yang berlawanan. Adapun 3 kondisi yang harus dipenuhi untuk beroperasi : magnitudo arus, time delay dan arah gangguan yang dapat diidentifikasi dengan menggunakan tegangan sebagai acuan arahnya [2].

Untuk menyelesaikan permasalahan koordinasi rele arus lebih, berbagai metode dan teknik yang telah dilakukan diklasifikasikan menjadi 3 jenis, yaitu teknik *curve fitting*, teknik teori *graph* dan teknik optimasi. Teknik optimasi dibedakan menjadi 3 jenis yaitu teknik optimasi konvensional, teknik optimasi *interior point*, dan teknik optimasi menggunakan *artificial intelligence* [3].

Genetic algorithm (GA) pertama kali dikembangkan oleh John Holland. GA adalah algoritma pencarian adaptif acak berdasarkan mekanisme seleksi alam dan genetika alam. Algoritma ini berlaku prinsip-

prinsip seleksi alam untuk mencari solusi optimal. Solusi dari satu populasi, diinisialisasi secara acak, dan digunakan untuk membuat populasi baru melalui operator genetik seperti seleksi, *crossover* dan mutasi. [5]. Diharapkan dengan menggunakan metode *Genetic Algorithm* ini dapat menghasilkan koordinasi rele arah arus lebih secara tepat dan optimal.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mencari pasangan rele primer dan rele backup berdasarkan arah gangguan *forward/reverse* pada sistem *multi-loop*
2. Bagaimana menerapkan metode algoritma genetika dalam *setting* koordinasi rele pada jaringan *multi-loop* atau *mesh* dengan pembangkit tersebar.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam tugas akhir ini simulasi dilakukan dengan *software* MATLAB R2013b
2. Dalam pengambilan data arus gangguan dan arus nominal digunakan *software* ETAP 12.6.0
3. Analisis dilakukan pada plant distribusi *mesh 8 bus* IEEE yang sebelumnya kami lakukan penambahan beberapa beban dan 1 pembangkit tersebar.

1.4 Tujuan

Tujuan pada tugas akhir ini adalah tercapainya koordinasi rele arah arus lebih yang optimal pada sistem distribusi *mesh/multi-loop* dengan injeksi pembangkit tersebar menggunakan metode algoritma genetika sebagai metode optimasi.

1.5 Metodologi

Metode yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Pengumpulan data dan studi literatur
Pengumpulan data dan studi literatur diperlukan untuk mendukung pengujian simulasi program. Adapun data-data yang

diperlukan adalah data jaringan distribusi mesh dengan pembangkit tersebar berupa *rating* generator, trafo, kabel, beban dan *single line diagram*. Literatur yang digunakan dalam penyusunan tugas akhir ini berupa jurnal ilmiah, buku, dan *user manual*.

2. Pemodelan dan simulasi

Sistem tenaga listrik yang disimulasikan/dibuat *single line diagram* adalah sistem distribusi mesh 8 bus, 14 rele arah arus lebih, 2 unit pembangkit, dan 1 pembangkit tersebar menggunakan software simulasi ETAP 12.6.0 Langkah selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat yang bertujuan untuk mendapatkan data masukan berupa arus *full load*, arus kontribusi gangguan yang melewati rele, ratio trafo dan pasangan rele utama dan *backup*. Simulasi program koordinasi proteksi menggunakan algoritma genetika disusun dengan memanfaatkan *software* MATLAB 2013b.

3. Analisis

Hasil simulasi terakhir berupa data koordinasi proteksi rele *digital* pada pemodelan *single line diagram* dalam ETAP 12.6.0 untuk memastikan kebenaran koordinasi tersebut. Analisis yang dilakukan pada tugas akhir ini meliputi penerapan algoritma genetika dalam koordinasi rele arah arus lebih dan pengaruh *injeksi* pembangkit tersebar dalam sistem distribusi *multi-loop* terhadap sistem proteksi jaringan tersebut.

4. Kesimpulan

Langkah akhir dari penyusunan tugas akhir ini adalah pembuatan kesimpulan dari hasil analisis dan simulasi yang telah dilakukan. Selain itu juga akan diberikan saran dan rekomendasi tentang kelangsungan penelitian yang telah dilakukan khususnya penelitian pada jaringan distribusi *multi-loop* dimasa depan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan pembahasan yang akan dilakukan, tugas akhir ini terbagi menjadi lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, metodologi pengerjaan tugas akhir, sistematika pembahasan dan relevansi dari tugas akhir ini.

BAB II : DASAR TEORI

Pada bab ini akan dijelaskan teori-teori penunjang yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

BAB III : PERANCANGAN SISTEM

Bab ini akan menjelaskan perancangan sistem sebelum dilakukan simulasi berupa *plant* dan *flowchart sistem*,

BAB IV : HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil simulasi yang telah dilakukan serta analisis terhadap kinerja koordinasi rele arah arus lebih pada sistem distribusi mesh atau *multi-loop* menggunakan *genetic algoritma*.

BAB V : PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil simulasi, studi literatur dan analisis yang telah dilakukan.

1.7 Relevansi

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu berkontribusi meningkatkan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya tentang studi koordinasi rele pada jaringan *multi-loop*. Kemudian menjadi referensi dan rekomendasi dalam melakukan perencanaan pemasangan rele proteksi pada plant terinterkoneksi, seperti jaringan *mesh*, dan semoga bermanfaat bagi mahasiswa lainnya sedang mengambil tugas akhir dengan pokok bahasan yang sama.

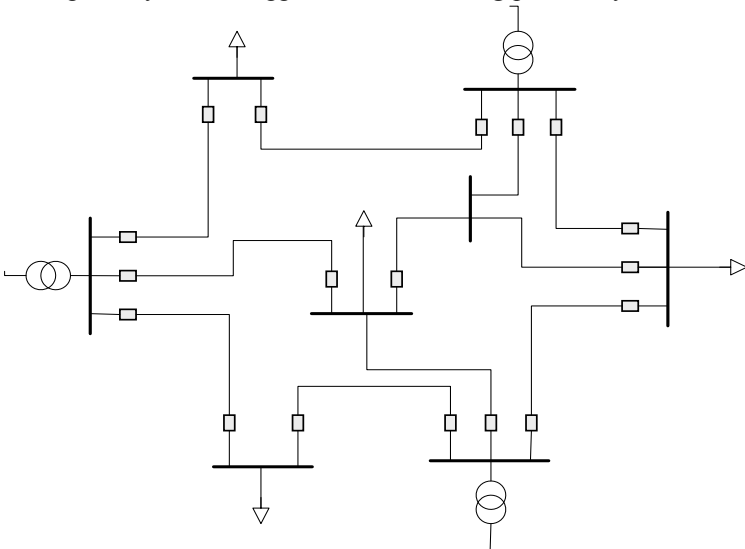
BAB II DASAR TEORI

2.1 Sistem Jaringan Distribusi Mesh

Sistem ini merupakan kombinasi antara radial dan loop atau biasanya disebut *multi-loop*. Dalam sistem ini titik beban memiliki banyak alternatif saluran, sehingga bila salah satu saluran terganggu, maka dengan segera dapat digantikan oleh saluran yang lain. Dengan demikian kontinuitas penyaluran daya sangat terjamin, mengingat sistem ini juga dilayani oleh dua atau lebih sumber tenaga listrik yang bekerja secara paralel. Keuntungan dari sistem ini adalah :

1. Kontinuitas penyaluran daya cukup terjamin
2. Dibanding sistem yang lainnya sistem ini paling baik dalam memenuhi kebutuhan beban.
3. Gangguan yang terjadi pada salah satu saluran tidak akan mengganggu koninuitas pelayanan.

Namun disamping keuntungannya sistem distribusi mesh masih memiliki beberapa kelemahan, yaitu biaya konstruksi dan pembangunannya lebih tinggi/mahal serta *setting* proteksinya lebih sulit.



Gambar 2.1 Sistem Jaringan Mesh

Terlihat pada Gambar 2.1 sistem ini biasanya digunakan pada daerah-daerah yang memiliki kepadatan tinggi dan mempunyai kapasitas dan kontinuitas pelayanan yang sangat baik.

2.2 Proteksi Dalam Sistem Tenaga Listrik

Dalam suatu sistem tenaga listrik, proteksi yang digunakan harus dapat mengatasi berbagai macam gangguan-gangguan pada sistem tenaga listrik, oleh sebab itu dibutuhkan peralatan listrik salah satunya adalah rele pengaman. Sistem tenaga listrik dibutuhkan untuk menghasilkan dan mengalirkan energi listrik ke konsumen. Oleh karena itu sistem tersebut harus dirancang sebaik mungkin agar kontinuitas tetap terjaga, handal, dan ekonomis. Dalam pengoperasiannya berdasarkan referensi [9], peralatan rele pengaman sistem tenaga listrik harus memenuhi beberapa syarat yaitu:

- Sensitifitas, yaitu kemampuan dalam mendeteksi gangguan yang paling kecil dan beroperasi dengan benar sesuai setelan.
- Selektivitas, merupakan kemampuan dalam mendeteksi serta mengisolasi area gangguan secara selektif.
- Kecepatan, yaitu bekerja secepat mungkin dalam batas –batas aturan operasi yang telah ditentukan.
- Keandalan, yaitu kemampuan rele mengamankan secara berkesinambungan setiap ada gangguan. Keandalan suatu sistem proteksi dapat dibagi atas dua bagian yaitu kemampuan rele untuk selalu bekerja benar bila dibutuhkan (dependability) dan kemampuan rele untuk tidak beroperasi bila tidak dibutuhkan (security). Untuk itu diperlukan perencanaan dan pemeliharaan yang baik.
- Ekonomis, penggunaan rele harus disesuaikan dengan saluran dan peralatan yang diamankan.

2.3 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Dalam sistem tenaga listrik tiga fasa, gangguan-gangguan yang dapat menyebabkan timbulnya arus lebih yang dapat terjadi diantaranya gangguan tegangan lebih (*overvoltage*), Gangguan beban lebih (*overload*), dan gangguan hubung singkat (*short circuit*) [11].

2.3.1 Gangguan beban lebih

Timbulnya gangguan ini dikarenakan adanya arus yang mengalir melebihi kapasitas suatu peralatan listrik dan pengaman yang terpasang.

Gangguan beban lebih bukan bersifat gangguan murni, namun apabila dibiarkan dapat merusak peralatan listrik yang dialiri arus tersebut.

2.3.2 Gangguan Tegangan Lebih

Gangguan tegangan lebih dapat terjadi ketika ada kelainan pada sistem listrik, antara lain :

1. Gangguan petir
2. Gangguan surja hubung, diantaranya adalah penutupan saluran yang tidak serempak pada saat pemutusan tiga fasa, penutupan saluran kembali dengan cepat, pelepasan beban akibat gangguan, penutupan saluran yang semula tidak masuk ke dalam sistem dan sebagainya.

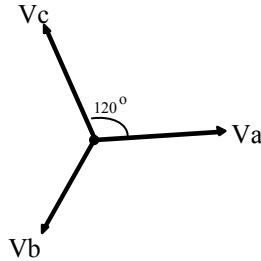
2.3.3 Gangguan Hubung Singkat

Gangguan hubung singkat dapat mengakibatkan arus lebih pada fasa yang terganggu dan menyebabkan kenaikan tegangan pada fasa yang tidak terganggu. Gangguan ini dapat terjadi pada satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa, atau tiga fasa ke tanah.

Gangguan hubung singkat ini dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu hubung singkat simetri dan hubung singkat asimetri. Gangguan yang termasuk dalam hubung singkat simetri adalah gangguan hubung singkat tiga fasa, sedangkan gangguan selain hubung singkat tiga fasa termasuk gangguan hubung singkat asimetri.

2.3.3.1 Gangguan Simetri

Gangguan simetri adalah gangguan yang seimbang antar fasanya. Contoh dari gangguan ini yaitu gangguan tiga fasa. Pada saat terjadi gangguan, nilai pada setiap fasanya akan sama sehingga apabila dijumlahkan akan bernilai nol. Gambar 2.2 berikut adalah gambar fasor diagram dari gangguan simetri.

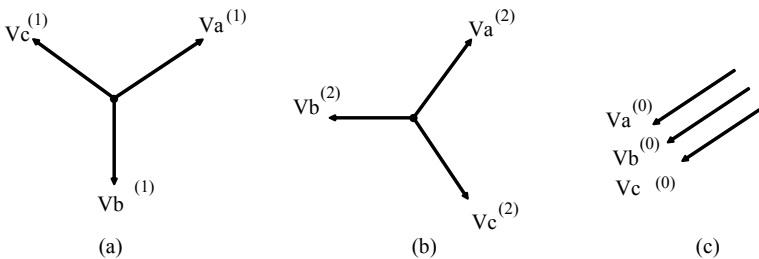


Gambar 2.2 Fasor Diagram Gangguan Simetri

2.3.3.2 *Gangguan Asimetri*

Gangguan asimetri disebut juga sebagai gangguan tidak seimbang. Dikatakan sebagai gangguan tidak seimbang karena apabila terjadi gangguan, nilai tiap fasanya tidak sama. Artinya, yang memberikan kontribusi arus hanya dari salah satu atau dua fasanya. Contoh dari gangguan ini yaitu gangguan satu fasa ketanah, antar fasa dan dua fasa ketanah. Untuk analisa gangguan asimetri disederhanakan dengan menggunakan komponen simetri.

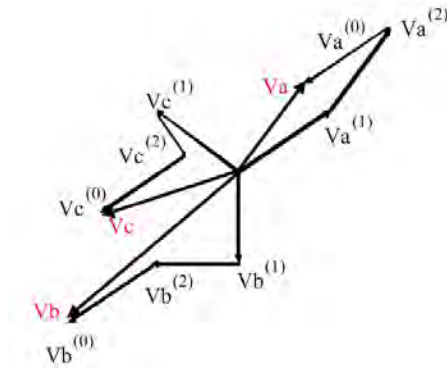
Gambar 2.3 berikut adalah gambar dari komponen simetri.



Gambar 2.3 (a) Komponen Urutan Positif; (b) Komponen Urutan Negatif; (c) Komponen Urutan Nol

Perbedaan nilai antar fasa ini bisa dilihat dari besarnya magnitude ataupun dari sudut fasa. Sehingga untuk menyamakan setiap fasanya digunakanlah komponen simetri yaitu komponen urutan positif (1), komponen urutan negatif (2) dan komponen urutan nol (0). Nilai dari

tegangan/arus hubung singkat adalah hasil penjumlahan dari ketiga urutan tersebut. Gambar 2.4 berikut adalah fasor penjumlahan dari komponen simetri.



Gambar 2.4 Diagram Fasor Penjumlahan Komponen Simetri

Dari Gambar 2.4 didapatkan bahwa nilai setiap fasanya yaitu:

$$\begin{aligned} V_a &= V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)} \\ V_b &= V_b^{(0)} + V_b^{(1)} + V_b^{(2)} \\ V_c &= V_c^{(0)} + V_c^{(1)} + V_c^{(2)} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Variabel V_b dan V_c dapat diganti dengan variabel V_a yang dikalikan dengan fungsi operator a dimana nilainya yaitu $1 \angle 120^\circ$. Sehingga dari Gambar 2.3 dapat dilihat hubungan antara V_a , V_b dan V_c adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_b^{(0)} &= V_a^{(0)} & V_c^{(0)} &= V_a^{(0)} \\ V_b^{(1)} &= a^2 V_a^{(1)} & V_c^{(1)} &= a V_a^{(1)} \\ V_b^{(2)} &= a V_a^{(2)} & V_c^{(2)} &= a^2 V_a^{(2)} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Substitusi persamaan (2.2) ke (2.1), sehingga didapatkan:

$$V_a = V_a^{(0)} + V_a^{(1)} + V_a^{(2)}$$

$$V_b = V_a^{(0)} + a^2 V_a^{(1)} + a V_a^{(2)} \quad (2.3)$$

$$V_c = V_a^{(0)} + a V_a^{(1)} + a^2 V_a^{(2)}$$

Atau dalam bentuk matriks yaitu:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

Dimana nilai A yaitu:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Kemudian nilai A di invers untuk mempermudah perhitungan.

$$A^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Untuk mendapatkan nilai komponen simetri, maka sisi sebelah kiri dikalikan dengan A^{-1} .

$$\begin{bmatrix} V_a^{(0)} \\ V_a^{(1)} \\ V_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Perkalian dari matriks tersebut yaitu:

$$V_a^{(0)} = \frac{1}{3} (V_a + V_b + V_c) \quad (2.8)$$

$$V_a^{(1)} = \frac{1}{3} (V_a + a V_b + a^2 V_c) \quad (2.9)$$

$$V_a^{(2)} = \frac{1}{3} (V_a + a^2 V_b + a V_c) \quad (2.10)$$

Sama halnya dengan tegangan, persamaan untuk arus hubung singkat adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} I_{fa}^{(0)} \\ I_{fa}^{(1)} \\ I_{fa}^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

2.3.4 Rumus Perhitungan Arus Hubung Singkat

Hubung singkat pada sistem distribusi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

1. Hubung Singkat Tiga Fasa

$$I_{sc3\phi} = \frac{V_{ln}}{Z_1} \quad (2.12)$$

Pada hubung singkat ini, ketiga fasa saling bersentuhan. V_s merupakan tegangan nominal *line to netral* dan Z_1 adalah impedansi urutan positif.

2. Hubung Singkat Antar Fasa

$$I_{sc2\phi} = \frac{V_{ll}}{Z_1 + Z_2} \quad (2.13)$$

$$I_{sc2\phi} = \frac{\sqrt{3} V_{ln}}{Z_1 + Z_2} \text{ dan idealnya } Z_1 = Z_2$$

Maka persamaannya menjadi :

$$I_{sc2\phi} = \frac{1}{2} \sqrt{3} \frac{V_{ln}}{Z_1} = 0,866 I_{sc3\phi} \quad (2.14)$$

Hubung singkat ini terjadi antara dua fasa tanpa terhubung ke tanah.

3. Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Hubung singkat ini melibatkan impedansi urutan nol (Z_0), dan besarnya arus hubung singkat ini tergantung sistem pentanahan yang digunakan. Arus hubung singkat antar fasa (I_{sc0}) diberikan oleh persamaan berikut :

$$I_{sc0} = \frac{3V_{ln}}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (2.15)$$

2.4 Rele Arus lebih

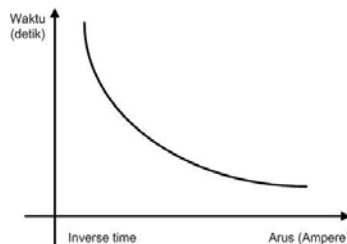
Sesuai dengan namanya rele arus lebih berfungsi untuk mengamankan jaringan dari gangguan arus lebih. Cara kerja rele arus lebih adalah bekerja ketika arus yang mengalir melebihi batas yang diizinkan. Rele arus lebih akan bekerja ketika kondisi sebagai berikut :

$$\begin{array}{ll} I_f > I_p & \text{Rele bekerja} & (trip) \\ I_f < I_p & \text{tidak bekerja} & (blok) \end{array}$$

2.4.1 Rele Arus Lebih Waktu Invers

Salah satu jenis rele arus lebih adalah rele arus lebih waktu invers. Sifat rele ini adalah memiliki waktu operasi yang berbanding terbalik dengan besarnya arus gangguan. Hal ini dapat diartikan, semakin besar arus gangguan maka rele akan beroperasi dalam waktu yang semakin cepat, begitu juga sebaliknya. Kurva karakteristik kerja rele arus lebih waktu invers digambarkan dalam kurva arus-waktu atau disebut *time-current characteristic*.

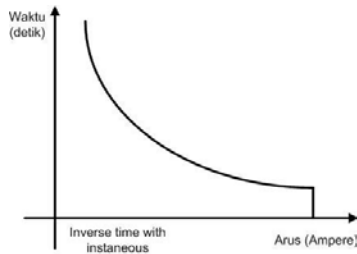
Karakteristik invers dijelaskan dalam standar IEC 60255-3 dan BS 142. Pada standar ini dijelaskan beberapa jenis perlindungan waktu invers yang dibedakan oleh gradien kurva yaitu *standard inverse*, *very inverse* dan *extremely inverse*. Karakteristik kurva invers ini disebut dengan istilah *inverse definite minimum time* (IDMT). Karena seiring dengan arus yang bertambah besar, maka waktu operasi rele turun semakin cepat seolah mendekati waktu *definite* minimumnya. Pada Gambar 2.5 ditampilkan bentuk kurva karakteristik rele arus lebih waktu invers



Gambar 2.5 Kurva Karakteristik Rele Arus Lebih Waktu Invers

2.4.2 Rele Arus Lebih Waktu Instan

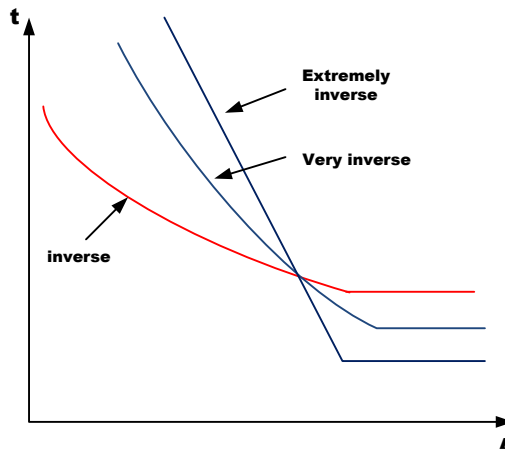
Rele lebih waktu instan bekerja tanpa penundaan waktu, akan tetapi bekerja dengan waktu cepat sebesar 0,1 detik. Pada rele ini mempunyai sifat kerja yang didasarkan besarnya arus gangguan hubung singkat yang dipilih. Sering disebut dengan setelan *instant* pada sistem distribusi jaringan tegangan menengah. Sering terjadi penggabungan antara rele arus lebih waktu invers dengan rele arus lebih waktu instan, seperti terlihat pada Gambar 2.6 dibawah ini.



Gambar 2.6 Kurva Karakteristik Invers dengan Instan

2.4.3 Penyetelan Rele Arus Lebih Waktu Invers dan Instan

Rele arus lebih waktu invers memiliki karakteristik ketika arus gangguan semakin besar, maka waktu operasi rele semakin cepat. Hal ini terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Kurva Karakteristik Waktu Operasi Arus Lebih

Begitu juga sebaliknya, semakin kecil arus gangguan yang terjadi maka waktu operasi rele akan lebih lama. Pada rele arus lebih waktu invers, terdapat dua penyetelan. Penyetelan tersebut adalah *setting* arus dan waktu. Penyetelan arus dilakukan dengan mengatur *tap* pada rele yang didapat dengan persamaan sebagai berikut:

$$Tap = \frac{I_{set}}{CT_{primary}} \quad (2.16)$$

Penyetelan arus harus mempertimbangkan arus beban maksimal. Hal ini bertujuan agar kondisi ketika beban penuh rele tidak terjadi *trip*. I_{set} merupakan arus *pickup* dalam Ampere. Berdasarkan standar British BS-142 penyetelan arus pickup mempunyai batas sebagai berikut:

$$1,05 I_{FLA} < I_{set} < 1,3 I_{FLA} \quad (2.17)$$

Dimana I_{FLA} adalah arus beban maksimum peralatan.

Penyetelan waktu dilakukan dengan mengatur *time dial* untuk mendapatkan waktu operasi rele tersebut. Berdasarkan IEC 255-3, untuk gangguan pada sistem distribusi menggunakan jenis kurva *standard invers* dengan persamaan sebagai berikut :

$$t = \frac{k \times T_d}{\left[\left(\frac{I}{I_{set}} \right)^\alpha - 1 \right]} \quad (2.18)$$

Di mana :

- t = Waktu operasi (detik)
- T_d = *Time dial*
- I = Nilai arus gangguan (Ampere)
- I_{set} = Arus *pickup* (Ampere)
- k = Koefisien invers 1 (lihat Tabel 2.1)
- α = Koefisien invers 2 (lihat Tabel 2.1)

Tabel 2.1 Koefisien Invers *Time Dial*

Tipe Kurva	Koefisien	
	k	α
<i>Standard Inverse</i>	0,14	0,02
<i>Very Inverse</i>	13,50	1,00
<i>Extremely Inverse</i>	80,00	2,00

Rele arus lebih instan memiliki karakteristik kerja tanpa penundaan waktu, tapi masih bekerja dengan waktu cepat. Jika ada arus lebih yang mengalir melebihi batas yang ditentukan maka rele akan

bekerja. Dalam menentukan setelan *pickup* instan ini digunakan $I_{sc \min}$ yaitu arus hubung singkat minimum 2 fasa. Sehingga *setting* ditetapkan:

$$I_{set} \leq 0,8 I_{sc \min} \quad (2.19)$$

2.4.4 Koordinasi Rele Arus dan Waktu

Koordinasi rele pada jaringan sangat mempertimbangkan urutan trip rele *primer* dan *backup*. Dalam urutan trip tersebut terdapat delay agar tidak terjadi *malfunction* yaitu trip secara bersamaan. Perbedaan waktu kerja antara Rele utama dan Rele *backup* berdasarkan standar IEEE 242 adalah 0,2 – 0,35 detik . Dengan spesifikasi sebagai berikut :

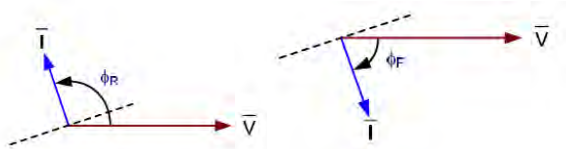
Waktu buka CB	: 0,04s – 0,1s (2-5 cycle)
<i>Overtravel</i> dari Rele	: 0,01s
Faktor keamanan	: 0,12s – 0,22s

Untuk rele berbasis *microprocessor* *Overtravel time* dari rele dapat diabaikan. Sehingga waktu yang diperlukan adalah 0,2-0,3s [11].

2.5 Directional Overcurrent

Rele arah arus lebih merupakan rele yang memiliki kemampuan untuk menentukan arah gangguan. Hal ini diperlukan dalam beberapa kasus sistem yang memiliki 2 sumber atau lebih yang saling terhubung.

Elemen *directional* bekerja berdasarkan pergeseran fasa antara besar polarisasi dan besar operasinya. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar 2.8, untuk kondisi *forward* , I lag terhadap V dan untuk kondisi *reverse* I lead terhadap V



Gambar 2.8 Basic Directional Element Reverse and Forward

2.6 Distributed Generation

Distributed Generation (DG) atau nama lain dari sebuah pembangkitan listrik skala kecil yang terletak pada sistem distribusi tenaga listrik dan biasanya ditempatkan pada bus-bus yang terhubung

langsung ke beban. Distributed Generation umumnya memiliki kapasitas kecil antara 15-10.000kW[6]. Adapun aplikasi penggunaan DG ini yaitu:

1. *Peaking power (load shaving)*

Pada aplikasi ini, DG beroperasi antara 200-300 jam tiap tahun untuk mengurangi harga listrik yang harus dibayar oleh pelanggan (biasanya industri) selama waktu beban puncak. Karakteristik DG yang penting pada aplikasi ini adalah biaya pemasangan yang rendah dan dapat *start* hanya dalam beberapa menit.

2. *Continuous power*

Pada aplikasi ini, DG beroperasi paling sedikit selama 6000 jam dalam setahun untuk membangkitkan tenaga listrik bagi sebagian atau seluruh fasilitas secara terus menerus. Karakteristik DG pada aplikasi ini ialah efisiensi tinggi, biaya pemeliharaan rendah dan emisi rendah serta banyak digunakan pelanggan jenis industri dan komersial

3. *Combined Heat and Power (CHP)*

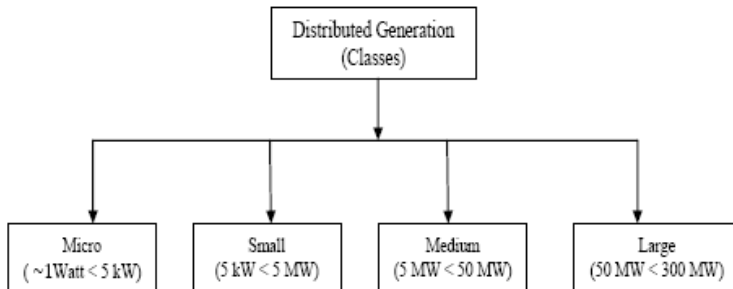
Pada aplikasi ini, DG beroperasi paling sedikit 600 jam dalam setahun untuk membangkitkan tenaga listrik bagi sebagian atau seluruh fasilitas. Energi panas yang dibuang dapat digunakan untuk memanaskan udara ruangan, air dan keperluan lainnya. Salah satu karakteristiknya adalah efisiensi tinggi.

4. *Emergency power*

Pada aplikasi ini, DG bertindak sebagai backup generator yang dihubungkan ke beban jika terjadi gangguan pada jaringan. Biasanya digunakan untuk pelanggan penting, dimana *supply* tenaga tidak boleh padam seperti fasilitas kesehatan

2.6.1 Tipe DG

Dalam pengklasifikasian tipenya, secara umum *distributed generation* dibagi menjadi beberapa tipe berdasarkan kapasitasnya yaitu bisa dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Klasifikasi *Distributed Generation*

Tetapi pendefinisian kapasitas DG terdapat definisi yang berbeda-beda dan yang saat ini digunakan sebagai referensi adalah sebagai berikut:

1. The Electric Power Research Institute mendefinisikan DG sebagai pembangkit dengan kapasitas beberapa kilowatt sampai dengan 50 MW.
2. Preston and Rastler mendefinisikan kapasitas DG mulai dari beberapa kilowatt hingga lebih dari 100 MW.
3. *International Conference on Large High Voltage Electric Systems* (CIGRE) mendefinisikan kapasitas DG berkisar antara 50-100 MW
4. *Gas Research Institute* menentukan DG sebagai pembangkit berkapasitas 25 kW hingga 100 MW.

Selain itu juga terdapat kesepakatan antara pengarang dengan organisasi yang berbeda mengenai definisi dari tujuan DG yaitu tujuan DG adalah untuk menyediakan sumber daya listrik aktif. Berdasarkan definisi tujuan DG maka DG tidak dibutuhkan dalam penyediaan sumber daya listrik reaktif. Definisi lokasi DG pun bervariasi antara penulis yang berbeda. Sebagian besar penulis menentukan lokasi DG pada sisi jaringan distribusi, beberapa penulis lain menentukan lokasi DG pada sisi pelanggan bahkan beberapa penulis lokasi DG mencakup pada sisi jaringan transmisi [10].

Tabel 2.2 Teknologi *Distributed Generation*

Teknologi DG	Kapasitas DG
<i>Combine Cycle Gas Turbine</i>	35 kW – 400 MW
<i>Internal Combustion Turbine</i>	5 kW – 10 kW
<i>Combustion Turbine</i>	1 MW – 250 MW
<i>Micro Turbines (MT)</i>	35 kW-1 MW
<i>Small Hydro</i>	1 – 100 MW
<i>Micro Hydro</i>	25 kW – 1 MW
<i>Wind Turbine (WT)</i>	200 W- 3MW
<i>Photovoltaic Array (PV)</i>	20 W- 100 kW
<i>Solar terminal, central receiver</i>	1 MW- 80 MW
<i>Solar terminal, Lutz system</i>	10 MW – 80 MW
<i>Biomass, e.g. based in gasification</i>	100 kW – 20 MW
<i>Fuel cells, phosacid</i>	200 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, molten carbonate</i>	250 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, proton exchange</i>	1 kW – 2 MW
<i>Fuel cells, solid oxide</i>	250 kW – 5 MW
<i>Geothermal</i>	5 – 100 MW
<i>Ocean Energy</i>	100 kW – 1 MW
<i>Stirling Engine</i>	2 – 10 kW
<i>Battery Storage</i>	500 kW- 5 MW

2.7 Algoritma Genetika

Algoritma genetika merupakan metode pencarian dengan menggunakan prinsip proses biologi yaitu evolusi alam. Algoritma ini didasarkan pada proses genetik yang ada pada makhluk hidup, yaitu perkembangan generasi dari awal sampai akhir. Sehingga prinsip seleksi alam yaitu “siapa yang kuat, dia yang bertahan (*survive*)” menjadi filosofi dari algoritma ini berdsarkan referensi [4].

Proses metode ini diawali dengan pembangkitan sejumlah populasi secara random sebagai solusi awal. Hasil *random* awal tersebut akan menjadi induk dari proses generasi selanjutnya. Jika suatu individu memenuhi persyaratan dalam menjalani sebuah proses evolusi, maka individu yang mencapai fungsi tujuan tersebut akan mempunyai kesempatan lebih untuk dipilih menjadi individu terbaik. Sedangkan individu yang tidak sesuai tujuan akan dibuang.

Dalam metode algoritma genetika terdapat istilah-istilah yang mempunyai arti tertentu dalam prosesnya pada Gambar 2.10. Adapun

istilah-istilah yang sering digunakan dalam optimasi dengan metode ini adalah sebagai berikut:

2.7.1 Pembangkitan Populasi Awal

Populasi awal dibangkitkan dengan menentukan terlebih dahulu jumlah variabel yang menjadi obyek random. Jika variabel atau kromosom mempunyai $Nvar$ variabel, maka akan terbentuk *array* sejumlah $1 \times Nvar$. Maka akan terbentuk kromosom, kromosom = $[p1, p2, p3, p4, \dots, pNvar]$. Populasi dibangkitkan dalam bentuk $Npop$ kromosom. Sehingga akan terbentuk suatu matriks dengan $Npop \times Nvar$. Variabel akan dinormalisasikan agar didapat harga antara 0 dan 1. Jika batasan variabel adalah plo dan phi , maka harga yang tidak ternormalisasi dapat diciptakan dengan persamaan sebagai berikut [4]:

$$p = (phi - plo)pnorm + plo \quad (2.19)$$

plo = Nilai terbesar dari rentang variabel yang diinginkan.

phi = Nilai terkecil dari rentang variabel yang diinginkan.

$Pnorm$ = Nilai normalisasi dari variable

Jika terdapat 3 variabel sebagai contoh kasus dari persamaan $x+2y+3z=22$, maka 3 variabel tersebut akan dibangkitkan pada populasi awal secara random dengan nilai acak sebagai berikut:

Kromosom[1] =

$x=10$	$y=3$	$z=2$
--------	-------	-------

2.7.2 Seleksi Alam

Tujuan dari seleksi alam untuk mendapatkan nilai fungsi $Npop$ yang memenuhi syarat evaluasi dan batas-batas. Selanjutnya hasilnya akan di urutkan berdasarkan nilai terendah ke terbesar. Proses ini harus berada dalam tiap iterasi sehingga setiap kromosom dari populasi dapat mendapatkan hasil terbaik pada tiap generasi yang dilewati [4]. Dibawah ini tabel contoh pembangkitan populasi awal dan seleksi.

Tabel 2.3 Contoh Populasi Awal dengan Populasi 8, Kromosom dan Harga (*Cost*)

x	y	Cost
6,97450	0,8342	3,4766
0,30359	9,6828	5,5408
2,40200	9,3359	-2,2528
0,18758	8,9371	-8,0108
2,69740	6,2647	-2,8957
5,61300	0,1289	-2,4601
7,72460	5,5655	-9,8884
6,85370	9,8784	13,752

Tabel 2.4 Contoh Kromosom yang Masih Bertahan Setelah dilakukan Seleksi 50%

x	y	Cost
7,72460	5,5655	-9,8884
0,18758	8,9371	-8,0108
2,69740	6,2647	-2,8957
5,61300	0,1289	-2,4601

Pada contoh diatas, rata-rata harga fungsi dari 8 populasi adalah -0,3423 dan harga terbaik adalah -9,8884. Setelah terjadi seleksi didapat rata-rata harga fungsi dari populasi adalah -5,8138.

2.7.3 Pasangan

Tahap ini akan dilakukan pembangkitan pasangan induk secara random dari kromosom – kromosom hasil seleksi. Sebagai contoh, $m_a = [2 \ 3]$ dan $p_a = [3 \ 1]$ merupakan pasangan yang mana kromosom 2 berpasangan dengan kromosom 3 dan kromosom 3 berpasangan dengan kromosom 1.

2.7.4 Perkawinan

Pada bagian ini dua pasangan induk akan dikawinkan sehingga menghasilkan dua pasang keturunan.

$$\text{induk}_1 = [p_{m1}, p_{m2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{m5}, \dots, p_{mNvar}]$$

$$\text{induk}_2 = [p_{d1}, p_{d2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{d5}, \dots, p_{dNvar}]$$

Crossover dilakukan secara random diantara variabel diatas:

$$\text{Keturunan}_1 = [p_{m1}, p_{m2}, p_{d3}, p_{d4}, p_{m5}, \dots, p_{mNvar}]$$

$$\text{Keturunan}_2 = [p_{d1}, p_{d2}, p_{m3}, p_{m4}, p_{d5}, \dots, p_{dNvar}]$$

Untuk contoh diatas, maka nilai pasangan induk adalah :

$$\text{Kromosom}_1 = [0.1876, 8.9371]$$

$$\text{Kromosom}_2 = [2.6974, 6.2647]$$

Pembangkitan secara random menentukan p_I sebagai lokasi persilangan. Nilai random dari pembangkitan β yang merupakan nilai acak antara 0 sampai 1 didapat $\beta = 0.0272$ dan $\beta = 0.7898$.

Maka keturunan baru akan bernilai sesuai dengan persamaan [4] :

$$p_{new1} = p_{ma} - \beta[p_{ma} - p_{da}] \quad (2.20)$$

$$p_{new2} = p_{ma} + \beta[p_{ma} - p_{da}] \quad (2.21)$$

Maka dapat dihasilkan:

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_1 &= [0.18758 - 0.0272 \times 0.18758 + 0.0272 \times 2.6974, 6.2647] \\ &= [0.2558, 6.2647] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_2 &= [2.6974 + 0.0272 \times 0.18758 - 0.0272 \times 2.6974, 8.9371] \\ &= [2.6292, 8.9371] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_3 &= [2.6974 - 0.7898 \times 2.6974 + 0.7898 \times 7.7246, 6.2647] \\ &= [6.6676, 5.5655] \end{aligned}$$

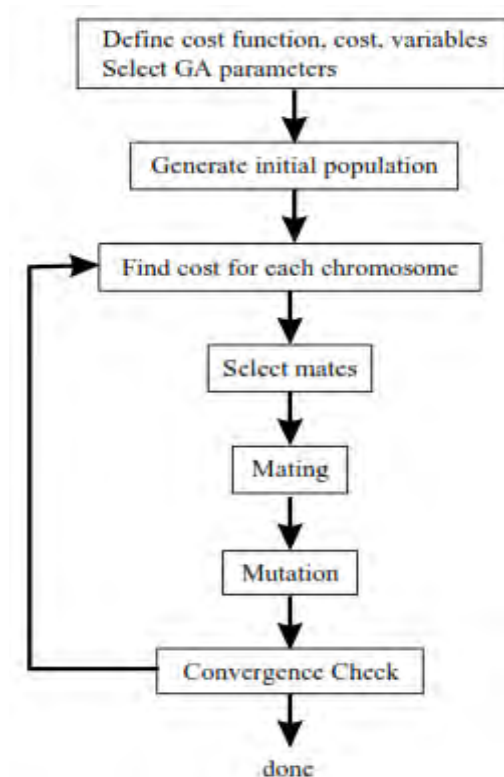
$$\begin{aligned} \text{Keturunan}_4 &= [7.7246 + 0.7898 \times 2.6974 - 0.7898 \times 7.7246, 8.9371] \\ &= [3.7544, 6.2647] \end{aligned}$$

2.7.5 Mutasi

Proses mutasi diterapkan agar menghasilkan nilai *global* optimum serta tidak terjadi lokal optimum pada proses *random*. Terkadang dihasilkan hasil yang konvergen terlalu cepat pada satu daerah optimasi tanpa mempertimbangkan daerah lain secara umum. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu mendorong proses untuk lebih menjelajahi harga daerah-daerah lain. Probabilitas mutasi yang baik berada pada kisaran 0 sampai 0,3. Probabilitas mutasi yang terlalu kecil dapat menyebabkan nilai terjebak dalam optimum lokal, dan probabilitas mutasi yang terlalu besar dapat mempersulit dalam mendapatkan nilai konvergen [4].

2.7.6 Generasi

Setelah proses mutasi dilakukan, iterasi atau generasi akan kembali ke awal untuk menghasilkan sejumlah generasi selanjutnya sehingga didapat populasi – populasi baru dan akhirnya mendapatkan harga fungsi terbaik berdasarkan urutan.



Gambar 2.10 *Flowchart Continuous Genetic Algorithm* [4]

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa langkah yang dilakukan antara lain simulasi sistem pada jaringan mesh, perancangan sistem yang terdiri dari sistem kelistrikan, penentuan pasangan rele, dan koordinasi proteksi menggunakan MATLAB.

3.1 Sistem Kelistrikan Distribusi Mesh

Dalam perancangan simulasi koordinasi proteksi pada tugas akhir ini, digunakan sistem distribusi mesh IEEE 8-bus pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 dengan beberapa penambahan seperti 1 buah *distributed generator*, 4 buah *Lump Load* pada bus 2, bus 3, bus 4, dan bus 5. Adapun jenis dari *distributed generator* yang digunakan adalah *wind turbine generator*. Pada Tabel 3.1, Tabel 3.2, dan Tabel 3.3 ditampilkan spesifikasi generator dan transformator yang terpasang.

Tabel 3.1 Data Generator

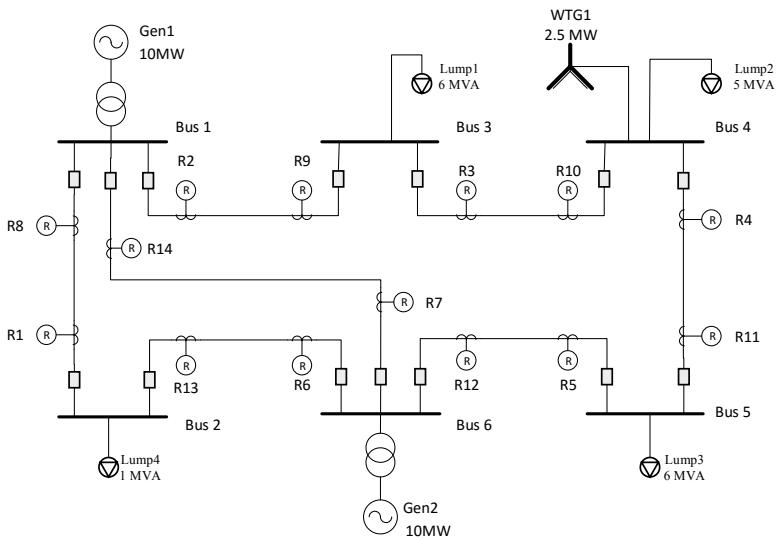
No	ID Unit	Rating Daya (MW)	Tegangan (kV)	Power Factor (%)
1	Gen1	10	6.3	80
2	Gen2	10	6.3	80

Tabel 3.2 Data Transformator

No	ID Unit	MVA	Tegangan (kV)		%Z
			Primer	sekunder	
1	T1	12,5	6.3	20	6,5
2	T2	12,5	6.3	20	6,5

Tabel 3.3 Data *Distributed Generator*

No	ID unit	Rating Daya (MW)	Tegangan (kV)	Power Factor (%)
1	WTG1	2.5	20	80



Gambar 3.1 *Single Line Diagram* dengan DG

Beban-belan yang terpasang pada simulasi ini terdiri dari Lumped Load. Beban jenis ini merupakan gabungan beban motor dan beban static. Kapasitas beban Lumped Load ini dapat di lihat pada Tabel 3.4

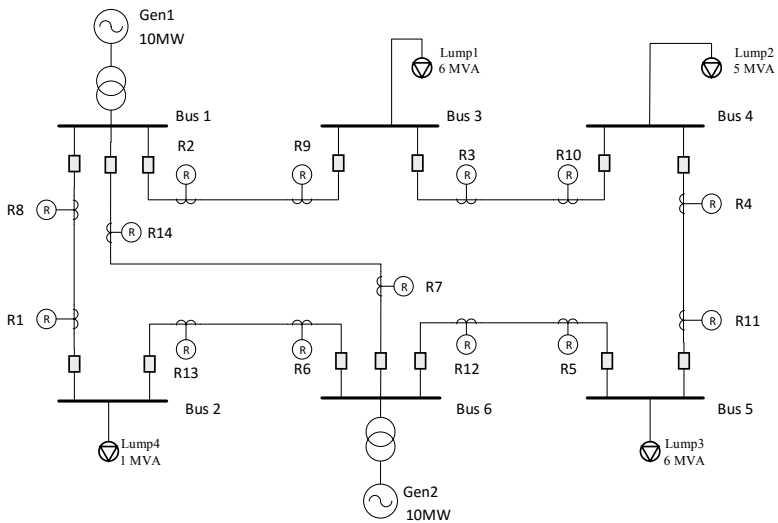
Tabel 3.4 Data Beban pada Bus

No	ID unit	Bus	MVA	Tegangan (kV)	Power Factor(%)
1	Lump1	2	6	20	85
2	Lump2	3	5	20	85
3	Lump3	4	6	20	85
4	Lump4	5	1	20	85

Untuk Menghubungkan bus satu dengan lainnya, saluran distribusi pada simulasi digunakan kabel dengan resistansi dan reaktansi tiap kabel yang dapat dilihat pada Tabel 3.5

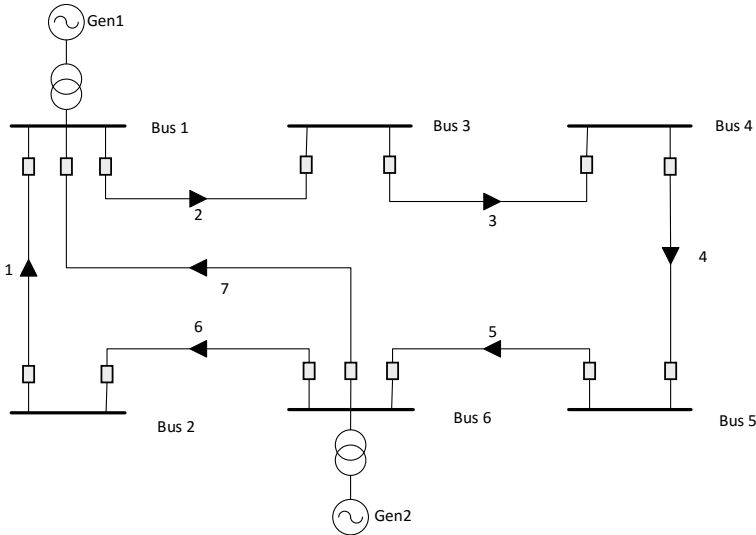
Tabel 3.5 Data Saluran

No	Cable ID	Panjang (m)	Z Saluran (Ω/km)	
			$Z_{1L}=Z_{2L}$	Z_{0L}
1	Cable 1	500	$0.196+j0.127$	$0.312+j0.323$
2	Cable 2	500	$0.196+j0.127$	$0.312+j0.323$
3	Cable 3	500	$0.196+j0.127$	$0.312+j0.323$
4	Cable 4	500	$0.196+j0.127$	$0.312+j0.323$
5	Cable 5	500	$0.196+j0.127$	$0.312+j0.323$
6	Cable 6	500	$0.196+j0.127$	$0.312+j0.323$
7	Cable 7	800	$0.196+j0.127$	$0.312+j0.323$



Gambar 3.2 Single Line Diagram tanpa DG

3.2 Algoritma untuk Menentukan Pasangan Rele Utama dan Backup[7]



Gambar 3.3 Single Line Diagram IEEE 8-Bus

Pada Gambar 3.3 semua pasangan rele utama dan rele backup dapat ditentukan menggunakan *nodal incidence matrix*, dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Asumsikan e adalah jumlah dari line transmisi dan n adalah jumlah dari bus.
2. Jumlah kolom dari matrik ini sama dengan jumlah bus.
3. Untuk menambah *incidence matrix* dapat disusun dengan mengalikan setiap elemen bukan nol dari *nodal incidence matrix* dengan -1 pada jumlah kolom $e + 1$ hingga $2e$. Kolom 1 hingga e mempunyai nilai yang sama dengan *nodal incidence matrix*.
4. Arah arus disetiap jalur pada jaringan diberikan secara bebas dan elemen dari *incidence matrix* A diperoleh dengan menggunakan aturan sebagai berikut :
 - a. Elemen dari matrik A diberi nilai -1 jika aliran memasuki node,

- b. Elemen dari matrik A diberi nilai +1 jika aliran meninggalkan node.

Dengan menggunakan langkah diatas maka matriks A mempunyai ukuran 6x7, 6 adalah jumlah bus dan 7 adalah jumlah jalur pada jaringan. Sehingga diperoleh matrik A sebagai berikut,

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Untuk mendapatkan matrik sistem maka matriks A diperluas dari kolom 8 hingga kolom 14 dan dikalikan dengan -1, sehingga di dapatkan:

Ad =

$$\begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Dari persamaan matriks diatas, dapat dianalisa sebagai berikut :

1. Asumsikan bahwa setiap kolom adalah rele, contoh kolom 1 adalah rele 1.
2. -1 dalam kolom tersebut merupakan representasi dari rele backup, sedangkan +1 dalam kolom tersebut merupakan rele primer.
3. Ambil baris yang sesuai dengan elemen negatif (-1).
4. Cari elemen positif yang sesuai dengan baris negatif tersebut, kecuali kolom 8 (rele 8) karena merupakan *augmented incidence matrix* dari kolom 1 (rele 1).
5. Ulangi 2-4 untuk pasangan rele utama dan rele *backup* yang lainnya.

Dari analisa diatas didapatkan pasangan rele utama dan *backup* pada tabel berikut ini.

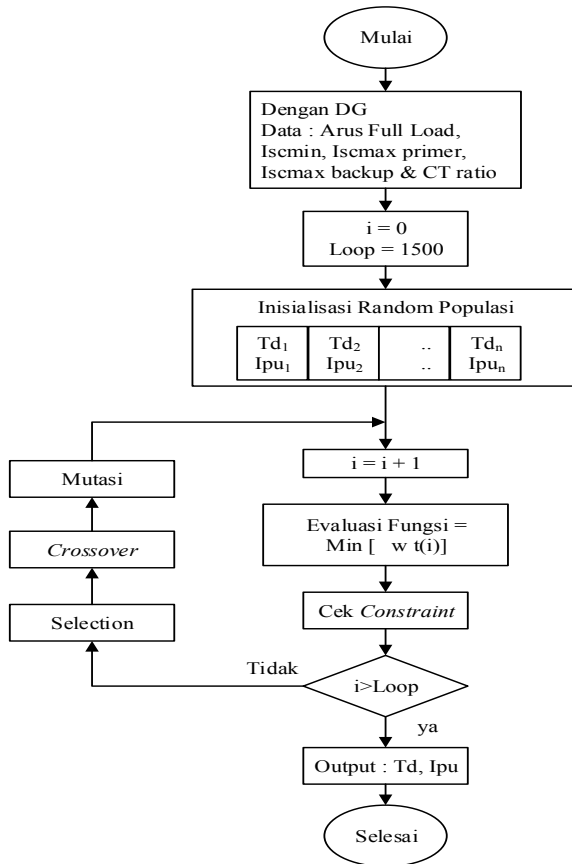
Tabel 3.6 Pasangan Rele Utama dan Rele *Backup*

No	<i>Forward (CW)</i>		No	<i>Reverse (CCW)</i>	
	Rele utama	Rele <i>backup</i>		Rele utama	Rele <i>backup</i>
1	1	6	11	8	9
2	2	1	12	8	7
3	2	7	13	9	10
4	3	2	14	10	11
5	4	3	15	11	12
6	5	4	16	12	14
7	6	5	17	12	13
8	6	14	18	7	13
9	7	5	19	13	8
10	14	1	20	14	9

Tabel 3.6 merupakan pasangan rele utama dan rele *backup* baik arah arus *forward* dan arah arus *reverse* yang didapat dari skenario penentuan pasangan rele menggunakan *nodal incidence matrix*.

3.3 Optimasi Koordinasi Proteksi Menggunakan *Genetic Algorithm*

Dalam optimasi koordinasi proteksi menggunakan algoritma genetika ini, dilakukan beberapa langkah yang digunakan untuk mencapai waktu operasi yang optimal pada rele utama dengan *constraint* yang telah di berikan. Dari waktu yang telah diminimumkan terdapat beberapa batasan yang harus dipenuhi antara waktu rele *primer* dan rele *backup* yang disebut *Coordination Time Interval* (CTI) sebesar 0,2 detik atau lebih. Dibawah ini akan ditampilkan *flowchart* penggunaan metode algoritma genetika untuk koordinasi proteksi rele arah arus lebih pada jaringan mesh.



Gambar 3.4 *Flowchart* Algoritma Genetika untuk Koordinasi Proteksi

Flowchart ini menjelaskan langkah-langkah kerja algoritma genetika dalam menentukan solusi permasalahan koordinasi proteksi rele berdasarkan *continuous genetic algorithm* optimization [4]. Berikut ini penjelasan dari *flowchart* diatas :

1. Langkah pertama

Adalah melakukan sejumlah input data : Arus full load, arus kontribusi hubung singkat pada tiap rele primer, arus kontribusi

hubung singkat maksimal pada tiap rele *backup*, rasio CT, arus hubung singkat minimum primer, dan pasangan rele *primer/backup*. Data diatas didapat dari analisa pada *software* ETAP 12.6.0.

2. Langkah kedua

Membangkitkan sejumlah data awal yang berupa nilai Td (*Time dial*) dan Arus *pickup* (Ipu). Pembangkitan nilai data-data awal ini dilakukan secara random dengan batas-batas yang telah ditentukan. Dalam algoritma genetika nilai Td dan Ipu dikelompokkan dalam suatu kromosom dimana jumlah Td beserta Ipu berjumlah sama dengan jumlah rele yang akan dihitung. Adapun batasan dari nilai Td dan Arus *pickup* atau sering disebut *constraint* berdasarkan referensi adalah:

- $0,05 \leq Td \leq 1,2$
- $1,05 \times \text{Arus Full Load} \leq I_{pickup} \leq 1,3 \times \text{Arus Full load}$

3. Langkah ketiga

Mengevaluasi nilai hasil random kedalam fungsi objektif yaitu:

$$\text{Min (J)} = \sum_{i=1}^n w_i t_i$$

Dimana n adalah jumlah rele, t_i adalah waktu operasi rele saat gangguan sedangkan w_i tergantung pada kemungkinan kesalahan yang diberikan disetiap zona perlindungan biasanya bernilai 1. Tujuan dari persamaan fungsi objektif ini adalah meminimalkan jumlah waktu operasi rele utama.

4. Langkah empat

Memeriksa nilai-nilai dari hasil evaluasi dengan *constraint* yang ditentukan. Adapun *constraint* dalam koordinasi ini berdasarkan referensi [1] sebagai berikut :

- a. Selisih waktu kerja rele *backup* dan rele utama saat gangguan pada bus yang sama disebut *coordination time interval* (CTI) sebesar $0,3 - 0,4s$, sedangkan untuk rele *microprocessor*, $0,1 - 0,2s$.

$$t_{backup} - t_{primer} \geq CTI$$

5. Langkah lima

Adalah Selection. Pada Pada tahap ini, setelah didapat hasil *fitness* dari evaluasi yang dilakukan, maka perlu ditentukan peringkat *fitness* berdasarkan bobot dari tiap *fitness* tersebut dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P(Cn) = \frac{Nkeep - n + 1}{\sum_{i=1}^{Nkeep} i} \quad (3.1)$$

Dimana *Nkeep* adalah jumlah *ranking* serta *n* adalah urutan *ranking* yang dihitung. Sehingga dalam persamaan tersebut akan dihasilkan angka posisi kemungkinan kromosom berada.

6. Langkah selanjutnya adalah *crossover*. Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan kawin silang adalah:

$$x_{new} = (1-\beta)x_m + \beta x_d \quad (3.2)$$

7. Proses diatas akan berlangsung selama $i > Loop$, dimana *Loop* merupakan jumlah iterasi yang telah ditentukan sedangkan *i* merupakan variabel pada tiap iterasi yang bertambah 1 nilainya.

~Halaman ini sengaja dikosongkan~

BAB IV HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

4.1 Analisis Hubung Singkat

Dalam mencari arus hubung singkat pada tiap bus dalam sistem distribusi mesh ini, digunakan *software* simulasi yaitu ETAP 12.6.0. simulasi hubung singkat yang dicari terdapat 2 kondisi, yaitu :

1. *Isc Min* (kA) ketika 30 *cycle* (L-L)
2. *Isc Max* (kA) ketika 1.5 – 4 *cycle* (3-phase)

Hasil simulasi hubung singkat dapat dilihat pada Tabel 4.1 dibawah ini.

Tabel 4.1 Arus Hubung Singkat Setiap Bus

No	ID Bus	Tegangan (kV)	Isc Min (kA)	Isc Max (kA)	Isc Max dengan DG (kA)
1	Bus1	20	2.11	4.58	4.96
2	Bus2	20	2.1	4.55	4.92
3	Bus3	20	2.09	4.55	4.94
4	Bus4	20	2.08	4.54	4.93
5	Bus5	20	2.09	4.55	4.94
6	Bus6	20	2.11	4.58	4.96

4.2 Arus Kontribusi Hubung Singkat pada Tiap rele

Tujuan mengetahui nilai arus kontribusi hubung singkat yang melewati tiap pasang rele adalah sebagai nilai untuk menghitung *setting* rele pada program dan perhitungan manual proteksi. Pada perhitungannya arus hubung singkat maksimum dipergunakan dalam perhitungan kurva karakteristik *inverse*. Jenis nilai arus kontribusi hubung singkat maksimal yang dimasukkan pada program simulasi terdiri dari 2 arus kontribusi yaitu :

1. Arus kontribusi yang melewati rele *primary*
2. Arus kontribusi yang melewati rele *backup*

Berikut ini adalah data hasil pengamatan arus-arus hubung singkat pada tiap bus :

4.2.1 Arus Kontribusi Minimum

Pada saat arus hubung singkat minimum DG tidak memberikan kontribusi arus sehingga tidak ada perbedaan arus pada saat DG terpasang maupun tidak. Dari arus gangguan yang diberikan didapat data sebagai berikut :

Tabel 4.2 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 1

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 2	Bus 1	0.383
Bus 6	Bus 1	0.478
Bus 3	Bus 1	0.191
Bus 1	Bus 1	1.06
Total		2.112

Tabel 4.3 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 2

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 1	Bus 2	1.05
Bus 6	Bus 2	1.05
Total		2.1

Tabel 4.4 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 3

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 1	Bus 3	1.47
Bus 4	Bus 3	0.617
Total		2.09

Tabel 4.5 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 4

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 3	Bus 4	1.04
Bus 5	Bus 4	1.04
Total		2.08

Tabel 4.6 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 5

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 4	Bus 5	0.617
Bus 6	Bus 5	1.47
Total		2.09

Tabel 4.7 Arus Hubung Singkat Minimum pada Bus 6

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 5	Bus 6	0.191
Bus 1	Bus 6	0.478
Bus 2	Bus 6	0.383
Bus 6	Bus 6	1.06
Total		2.11

Setelah mengetahui arus hubung singkat pada line yang terhubung di tiap bus. Kita dapat menghitung arus hubung singkat yang mengalir pada tiap-tiap rele. Adapun yang terbaca pada masing-masing rele sebagai berikut :

Tabel 4.8 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 1

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 2	1.919	Rele 1	0.383
Rele 2	1.919	Rele 7	0.478
Rele 8	1.727	Rele 7	0.478
Rele 8	1.727	Rele 9	0.191
Rele 14	1.632	Rele 1	0.383
Rele 14	1.632	Rele 9	0.191

Tabel 4.9 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 2

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 1	1.05	Rele 6	1.05
Rele 13	1.05	Rele 8	1.05

Tabel 4.10 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 3

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 3	1.47	Rele 2	1.47
Rele 9	0.617	Rele 10	0.617

Tabel 4.11 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 4

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 4	1.04	Rele 3	1.04
Rele 10	1.04	Rele 11	1.04

Tabel 4.12 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 5

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 5	0.617	Rele 4	0.617
Rele 11	1.47	Rele 12	1.47

Tabel 4.13 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 6

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 6	1.727	Rele 5	0.191
Rele 6	1.727	Rele 14	0.478
Rele 7	1.632	Rele 5	0.191
Rele 7	1.632	Rele 13	0.382
Rele 12	1.919	Rele 13	0.383
Rele 12	1.919	Rele 14	0.478

4.2.2 Arus Kontribusi Maksimum dengan DG

Berikut ini adalah arus hubung singkat maksimum dengan DG yang telah diamati dan dicatat pada tiap bus gangguan. Pada saat arus hubung singkat minimum, DG tidak memberikan kontribusi arus sehingga tidak ada perbedaan arus pada saat DG terpasang maupun tidak. Namun ketika analisis arus hubung singkat maksimum DG memberikan kontribusi arus. Sehingga menyebabkan perubahan pada tiap bus atau meningkatnya arus hubung singkat maksimum.

Tabel 4.14 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 1

Dari	Ke	<i>I_{fault}</i> (kA)
Bus 2	Bus 1	0.949
Bus 6	Bus 1	1.12
Bus 3	Bus 1	1.48
Bus 1	Bus 1	1.41
Total		4.96

Tabel 4.15 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 2

Dari	Ke	<i>I_{fault}</i> (kA)
Bus 1	Bus 2	2.41
Bus 6	Bus 2	2.41
Lump4		0.099
Total		4.919

Tabel 4.16 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 3

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 1	Bus 3	2.45
Bus 4	Bus 3	1.89
Lump1		0.597
Total		4.94

Tabel 4.17 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 4

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 3	Bus 4	2.02
Bus 5	Bus 4	2.02
Lump2		0.498
WTG1		0.391
Total		4.93

Tabel 4.18 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 5

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 4	Bus 5	1.89
Bus 6	Bus 5	2.45
Lump3		0.597
Total		4.94

Tabel 4.19 Arus Hubung Singkat Maksimum pada Bus 6

Dari	Ke	I_{fault} (kA)
Bus 5	Bus 6	1.48
Bus 1	Bus 6	1.12
Bus 2	Bus 6	0.949
Bus 6	Bus 6	1.41
Total		4.96

Setelah mengetahui arus hubung singkat pada line yang terhubung di tiap bus. Kita dapat menghitung arus hubung singkat yang mengalir pada tiap-tiap rele. Arus hubung singkat yang mengalir pada rele *primer* maupun rele *backup* ketika terjadi gangguan pada bus 1, bus 2, bus 3, bus 4, bus 5, dan bus 6 dapat dilihat pada Tabel 4.20, Tabel 4.21, Tabel 4.22, Tabel 4.23, Tabel 4.24, dan Tabel 4.25. Arus hubung singkat yang mengalir pada rele nantinya akan digunakan untuk mengetahui parameter karakteristik waktu operasi rele ketika terjadi gangguan serta digunakan

untuk dapat menentukan parameter rele sehingga didapatkan koordinasi proteksi saat jaringan terpasang DG.

Tabel 4.20 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 1

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 2	3.48	Rele 1	0.949
Rele 2	3.48	Rele 7	1.12
Rele 8	4.011	Rele 7	1.12
Rele 8	4.011	Rele 9	1.48
Rele 14	3.84	Rele 1	0.949
Rele 14	3.84	Rele 9	1.48

Tabel 4.21 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 2

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 1	2.51	Rele 6	2.41
Rele 13	2.51	Rele 8	2.41

Tabel 4.22 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 3

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 3	3.05	Rele 2	2.45
Rele 9	2.49	Rele 10	1.89

Tabel 4.23 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 4

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 4	2.91	Rele 3	2.02
Rele 10	2.91	Rele 11	2.02

Tabel 4.24 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 5

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 5	2.49	Rele 4	1.89
Rele 11	3.05	Rele 12	2.45

Tabel 4.25 Arus Mengalir pada Rele Ketika Hubung Singkat di Bus 6

Rele primer	Arus (kA)	Rele <i>backup</i>	Arus (kA)
Rele 6	4.011	Rele 5	1.48
Rele 6	4.011	Rele 14	1.12
Rele 7	3.84	Rele 5	1.48
Rele 7	3.84	Rele 13	0.949
Rele 12	3.48	Rele 13	0.949
Rele 12	3.48	Rele 14	1.12

4.3 Koordinasi Proteksi Sebelum Menggunakan Algoritma Genetika

Pada koordinasi proteksi ini digunakan sebagai pembanding dengan hasil perhitungan koordinasi proteksi yang di optimasi menggunakan program *genetic algortihm* yang dijalankan di matlab. Pada perhitungan ini, hal pertama yang dilakukan adalah menetapkan tap *setting overcurrent* yang berguna sebagai proteksi sistem ketika terjadi gangguan arus lebih dan gangguan beban lebih (*overload*). Setelah hasil perhitungan telah didapat, langkah selanjutnya adalah mem-plot kurva pada ETAP *star view simulation* untuk melihat bentuk kurva karakteristik rele *inverse*.

Tabel 4.26 Tap *Setting*

Rele no.	Manual	GA
	Tap	Tap
1	0.99	0.98
2	0.99	0.98
3	0.85	0.85
4	0.86	0.86
5	0.99	0.98
6	0.97	0.97
7	0.99	0.98
8	0.95	0.95
9	0.97	0.97
10	0.87	0.87
11	0.85	0.85
12	0.99	0.98
13	0.95	0.95
14	0.97	0.97

Tabel 4.26 diatas merupakan tap *setting* untuk masing-masing rele pada saat sebelum dan sesudah di optimasi menggunakan metode algoritma genetika. *Setting* ini nantinya digunakan untuk rele, baik dalam keadaan *primer* maupun *backup*.

Tabel 4.27 Waktu Operasi Rele Sebelum GA

Rele <i>Primer</i>	t_{primer}	Rele <i>Backup</i>	t_{backup}	Margin (CTI)	Kondisi
R1	0.707	R6	0.9032	0.1962	terpenuhi
R2	0.6933	R1	1.5085	0.8152	terpenuhi
R2	0.6933	R7	1.5325	0.8392	terpenuhi
R3	0.7163	R2	0.8297	0.1134	< 0.2
R4	0.7067	R3	0.8509	0.1442	< 0.2
R5	0.7101	R4	0.8507	0.1406	< 0.2
R6	0.7026	R5	0.9956	0.2930	terpenuhi
R6	0.7026	R14	1.5027	0.8001	terpenuhi
R7	0.6927	R5	0.9956	0.3029	terpenuhi
R7	0.6927	R13	1.4399	0.7472	terpenuhi
R8	0.6962	R7	1.5325	0.8363	terpenuhi
R8	0.6962	R9	0.9802	0.2840	terpenuhi
R9	0.7022	R10	0.8554	0.1532	< 0.2
R10	0.7099	R11	0.8509	0.1410	< 0.2
R11	0.7163	R12	0.8297	0.1134	< 0.2
R12	0.6933	R13	1.4399	0.7466	terpenuhi
R12	0.6933	R14	1.5027	0.8094	terpenuhi
R13	0.6913	R8	0.8928	0.2015	terpenuhi
R14	0.6864	R1	1.5085	0.8221	terpenuhi
R14	0.6864	R9	0.9802	0.2938	terpenuhi

Pada Tabel 4.27 dapat dilihat bahwa waktu operasi primer dan waktu operasi backup sebelum dilakukan optimasi menggunakan genetika algoritma terdapat beberapa waktu operasi yang tidak sesuai

dengan CTI atau dengan kata lain $t_{backup} - t_{primer} < 0,2$ detik. Walaupun *sequence of operational* telah terpenuhi untuk masing-masing gangguan pada tiap saluran namun *coordination time interval* antara rele *primer* dan *backup* tidak terpenuhi, hal ini perlu dipertimbangkan mengingat pentingnya waktu *interval* dalam sistem proteksi.

4.3.1 Koordinasi Proteksi dengan DG

Dari Gambar 3.1 diatas didapatkan data pasangan rele pada tiap bus yang terkena gangguan sesuai dengan arah kerja rele-rele tersebut, gangguan tersebut nantinya akan mengaktifkan rele yang paling dekat baik dalam keadaan *forward* maupun *reverse*, hasil dari skenario didapatkan sebagai berikut :

Tabel 4.28 Pasangan Rele Tiap Gangguan pada Saluran

<i>Fault seen</i>	<i>Forward</i>				<i>Reverse</i>			
	P	B	P	B	P	B	P	B
<i>Fault line 1</i>	R1	R6			R8	R7	R8	R9
<i>Fault line 2</i>	R2	R1	R2	R7	R9	R10		
<i>Fault line 3</i>	R3	R2			R10	R11		
<i>Fault line 4</i>	R4	R3			R11	R12		
<i>Fault line 5</i>	R5	R4			R12	R14	R12	R13
<i>Fault line 6</i>	R6	R5	R6	R14	R13	R8		
<i>Fault line 7</i>	R7	R5	R14	R1	R14	R9	R7	R13

4.4 Penerapan Algoritma Genetika Dalam Koordinasi Proteksi

Proses pertama dalam menjalankan program simulasi ini adalah menentukan parameter koordinasi proteksi pada jaringan mesh dengan DG sebagai berikut :

1. Menentukan pasangan rele utama dan *backup*, sebagai berikut :

[1 6; 2 1; 2 7; 3 2; 4 3; 5 4; 6 5; 6 14; 7 5; 7 13; 8 7; 8 9; 9 10; 10 11; 11 12; 12 13; 12 14; 13 8; 14 1; 14 9];

2. Arus maksimum rele primer :
[2510 3480 3050 2910 2490 4011 3840 4011 2490 2910 3050 3480 2510 3840];
3. Arus maksimum ke rele backup :
[2410 949 1120 2450 2020 1890 1480 1120 1480 949 1120 1480 1890 2020 2450 949 1120 2410 949 1480];
4. IFL :
[360.8 360.8 200 200 360.8 360.8 360.8 360.8 360.8 200 200 360.8 360.8 360.8]

IFL merupakan Arus *full load* yang melewati rele utama. Urutan matriks dari IFL sama dengan matrik arus maksimum rele primer, untuk menentukan pasangan rele utama dan *backup* telah dijelaskan pada Tabel 3.6

Dalam algoritma genetika, terdapat parameter-parameter yang diperlukan untuk mencapai suatu nilai tujuan yang konvergen. Sejumlah parameter dimasukan berdasarkan *try and error*, dengan melihat kurva konvergensi dan hasil keluaran. Pada program simulasi ditetapkan nilai-nilai dari parameter tersebut adalah sebagai berikut:

1. Maksimum Iterasi = 1500
2. Ukuran Populasi = 100
3. Rating Mutasi = 0.02
4. Seleksi = 0.5 atau 50% dari populasi

4.5 Hasil dan Analisa Simulasi Koordinasi Proteksi dengan Menggunakan Algoritma Genetika

Setelah memasukkan data koordinasi proteksi dengan DG pada simulasi menggunakan program matlab yang dijalankan, didapatkan sebuah data-data optimasi jaringan mesh sebagai berikut :

Tabel 4.29 Waktu Operasi Rele Menggunakan GA

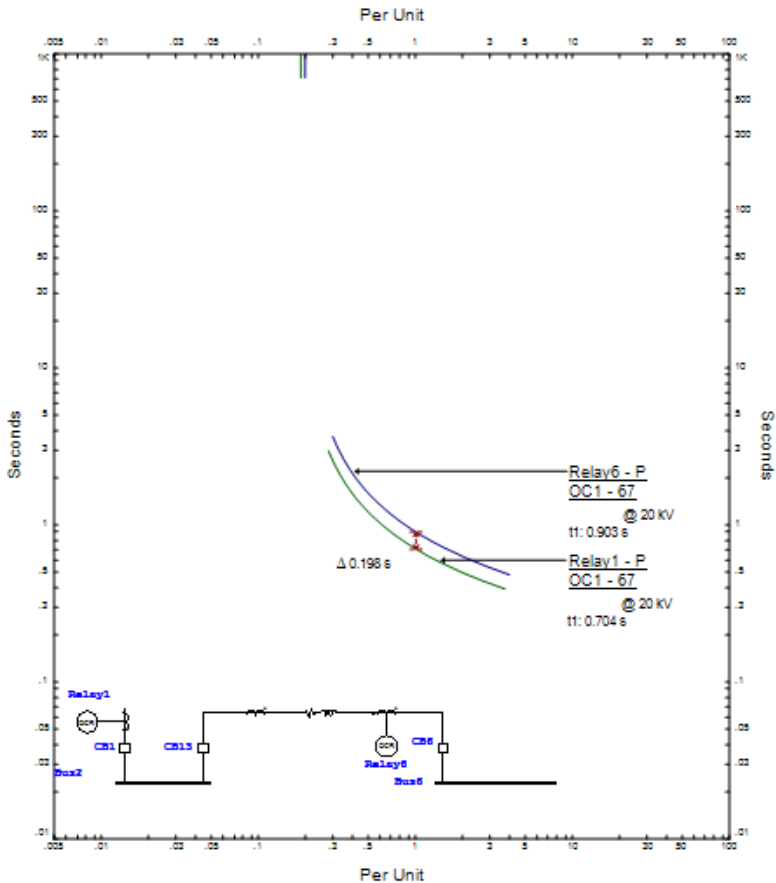
Rele <i>Primer</i>	t_{primer}	Rele <i>Backup</i>	t_{backup}	Margin (CTI)	Kondisi
R1	0.5548	R6	0.7921	0.2373	terpenuhi
R2	0.8481	R1	1.1762	0.328	terpenuhi
R2	0.8481	R7	1.1191	0.2709	terpenuhi
R3	0.7675	R2	1.0144	0.2469	terpenuhi
R4	0.7059	R3	0.9117	0.2058	terpenuhi
R5	0.6336	R4	0.8496	0.216	terpenuhi
R6	0.6159	R5	0.8872	0.2713	terpenuhi
R6	0.6159	R14	1.1760	0.5601	terpenuhi
R7	0.5091	R5	0.8872	0.3781	terpenuhi
R7	0.5091	R13	1.1335	0.6244	terpenuhi
R8	0.6079	R7	1.1191	0.5112	terpenuhi
R8	0.6079	R9	0.8764	0.2685	terpenuhi
R9	0.6280	R10	0.8549	0.2269	terpenuhi
R10	0.7096	R11	0.9413	0.2317	terpenuhi
R11	0.7925	R12	1.0478	0.2553	terpenuhi
R12	0.8766	R13	1.1335	0.2569	terpenuhi
R12	0.8766	R14	1.1760	0.2994	terpenuhi
R13	0.5450	R8	0.7791	0.2341	terpenuhi
R14	0.5372	R1	1.1762	0.639	terpenuhi
R14	0.5372	R9	0.8764	0.3392	terpenuhi

Dari data Tabel 4.29 dapat dilihat bahwa nilai margin dari waktu operasi rele utama dan rele *backup* telah bekerja sesuai *constraint* $CTI \geq 0,2$ detik, yang artinya tidak ada pasangan rele yang bekerja dibawah margin 0,2 detik, adapun yang bekerja melebihi *margin* dapat diperbaiki dengan merubah kurva karakteristiknya. Namun hal ini harus seimbang antara rele primer dan *backup* harus sama-sama memiliki kurva yang sama.

Tabel 4.30 Perbandingan Waktu Operasi *Primer* GA dan Manual

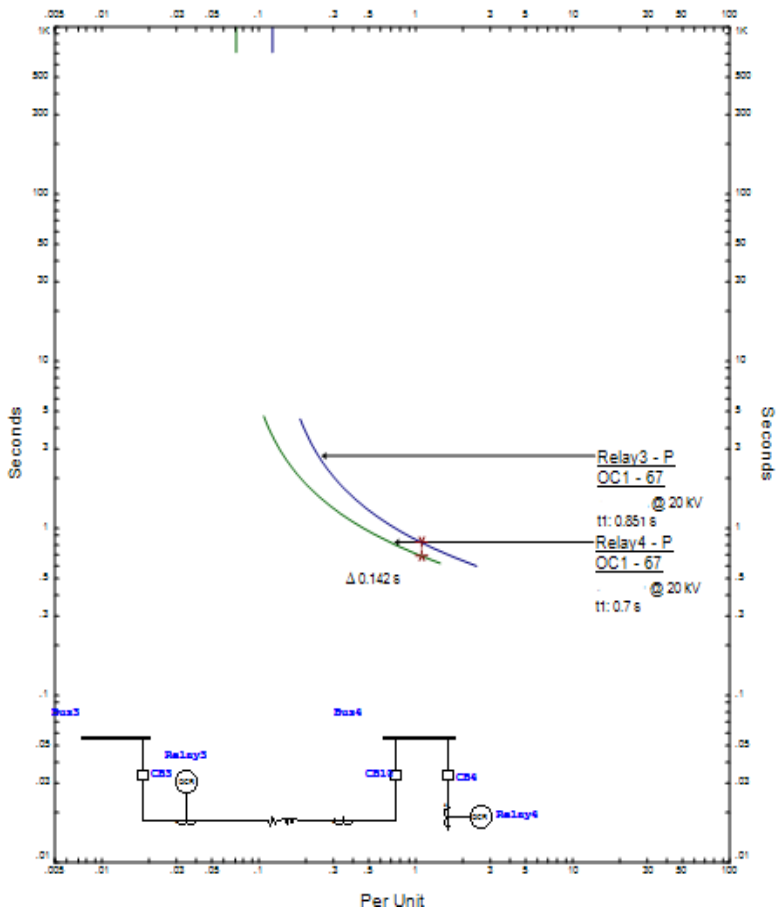
Fault	Arah arus	Rele no.	t_{primer} (GA)	t_{primer} (Manual)
<i>Fault 1</i> (Bus 1-2)	<i>Forward</i>	1	0.5548	0.7070
	<i>Reverse</i>	8	0.6079	0.6962
<i>Fault 2</i> (Bus 1-3)	<i>Forward</i>	2	0.8481	0.6933
	<i>Reverse</i>	9	0.6280	0.7022
<i>Fault 3</i> (Bus 3-4)	<i>Forward</i>	3	0.7675	0.7163
	<i>Reverse</i>	10	0.7096	0.7099
<i>Fault 4</i> (Bus 4-5)	<i>Forward</i>	4	0.7059	0.7067
	<i>Reverse</i>	11	0.7925	0.7163
<i>Fault 5</i> (Bus 5-6)	<i>Forward</i>	5	0.6336	0.7101
	<i>Reverse</i>	12	0.8766	0.6933
<i>Fault 6</i> (Bus 2-6)	<i>Forward</i>	6	0.6159	0.7026
	<i>Reverse</i>	13	0.5450	0.6913
<i>Fault 7</i> (Bus 1-6)	<i>Forward</i>	7	0.5091	0.6927
	<i>Reverse</i>	14	0.5372	0.6864
		Jumlah	9.3317	9.8243

Pada Tabel 4.30 dapat dianalisis nilai antara waktu operasi dari rele-rele primer terlihat total *tripping time* menggunakan GA lebih minimal daripada sebelum di optimasi. Walaupun pada kondisi rele 2, rele 11, dan rele 12 waktu operasi lebih besar dibanding dengan hasil dari manual. Hal ini terjadi karena penyesuaian dengan *coordination time interval* masing-masing rele *primer* dengan rele *backup* yang sebelumnya telah di jalankan pada program agar *coordination time interval* tidak $\geq 0,2$ detik, sehingga semua rele bekerja optimal dan berada dalam batasan yang telah di tentukan.



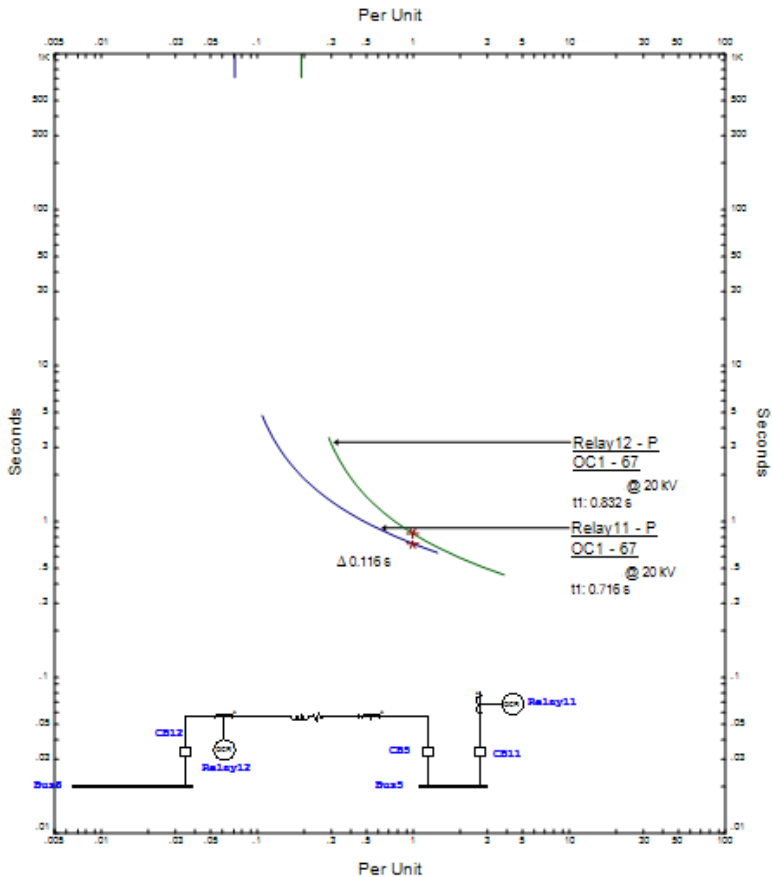
Gambar 4.1 Diagram Plot Rele 1 dan Rele 6

Pada Gambar 4.1 merupakan kondisi rele 1 dan rele 6 sebelum di optimasi, dapat dilihat bahwa *time interval* antara rele 1 dan rele 6 sebesar 0,196 detik. waktu *interval* antara rele utama dan rele *backup* terpenuhi atau dengan kata lain $\geq 0,2$ detik.



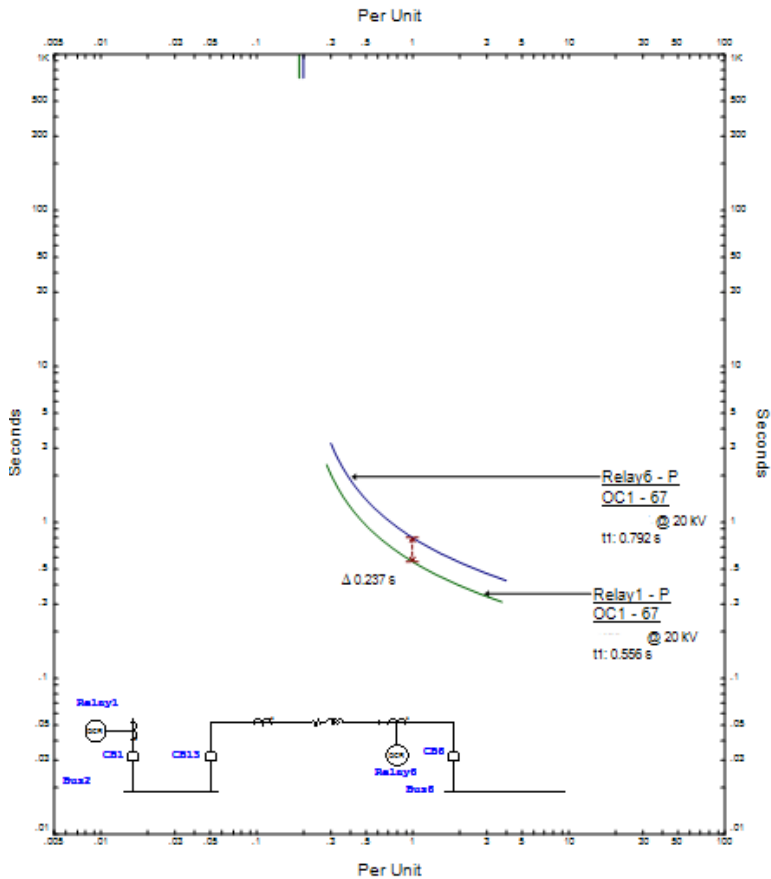
Gambar 4.2 Diagram Plot Relé 4 dan Relé 3

Pada Gambar 4.2 merupakan kondisi relé 4 dan relé 3 sebelum di optimasi, dapat dilihat bahwa *time interval* antara relé 4 dan relé 3 sebesar 0,142 detik. waktu *interval* antara relé utama dan relé *backup* belum terpenuhi atau dengan kata lain $\leq 0,2$ detik. Untuk itu diperlukan sebuah langkah optimasi agar CTI menjadi $\geq 0,2$ detik.



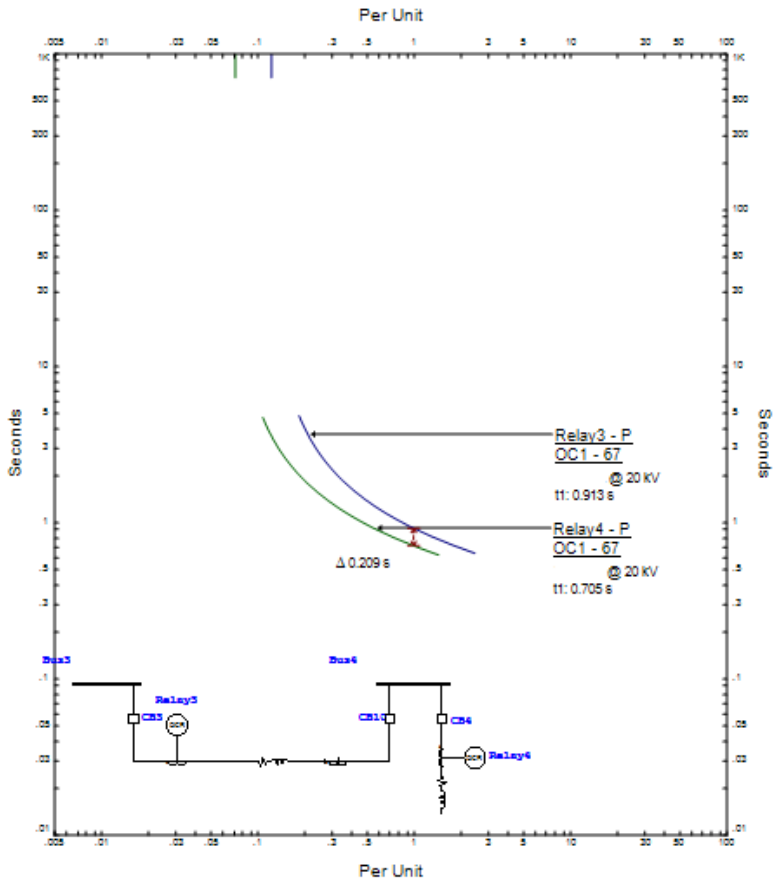
Gambar 4.3 Diagram Plot Rele 11 dan Rele 12

Pada Gambar 4.3 merupakan kondisi rele 11 dan rele 12 sebelum di optimasi, dapat dilihat bahwa *time interval* antara rele 11 dan rele 12 sebesar 0,116 detik. waktu *interval* antara rele utama dan rele *backup* belum terpenuhi atau dengan kata lain $\leq 0,2$ detik. Untuk itu diperlukan sebuah langkah optimasi agar CTI menjadi $\geq 0,2$ detik.



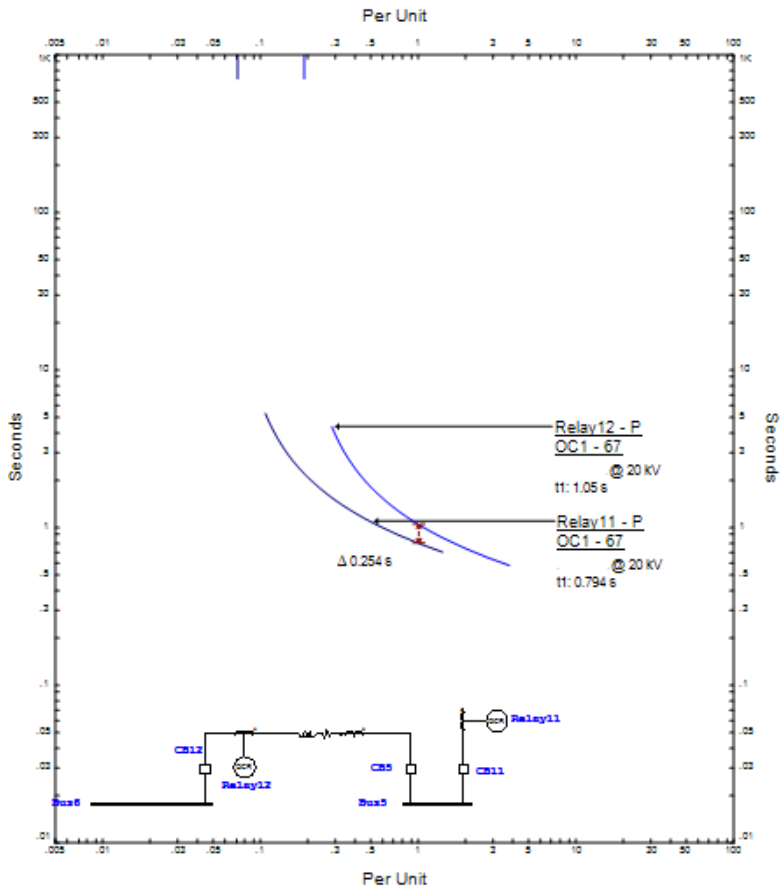
Gambar 4.4 Diagram Plot Relé 1 dan Relé 6 dengan GA

Pada Gambar 4.4 merupakan kondisi relé 1 dan relé 6 setelah di optimasi, dapat dilihat bahwa *time interval* antara relé 1 dan relé 6 sebesar 0,237 detik. waktu *interval* antara relé utama dan relé *backup* terpenuhi atau dengan kata lain $\geq 0,2$ detik.



Gambar 4.5 Diagram Plot Relé 4 dan Relé 3 dengan GA

Pada Gambar 4.5 merupakan kondisi relé 4 dan relé 3 setelah di optimasi, dapat dilihat bahwa *time interval* antara relé 4 dan relé 3 sebesar 0,209 detik. waktu *interval* antara relé utama dan relé *backup* telah terpenuhi atau dengan kata lain $\leq 0,2$ detik dari kondisi sebelumnya sebesar 0,142 detik.



Gambar 4.6 Diagram Plot Relé 11 dan Relé 12 dengan GA

Pada Gambar 4.6 merupakan kondisi relé 11 dan relé 12 setelah di optimasi, dapat dilihat bahwa *time interval* antara relé 11 dan relé 12 sebesar 0,256 detik. waktu *interval* antara relé utama dan relé *backup* telah terpenuhi atau dengan kata lain $\leq 0,2$ detik dari kondisi sebelumnya sebesar 0,116 detik.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa optimasi koordinasi proteksi rele arah arus lebih dengan DG menggunakan algoritma genetika, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Penambahan *distributed generator* hanya menyebabkan penambahan arus hubung singkat maksimum, hal ini dikarenakan jenis DG tersebut tidak memberikan arus kontribusi pada saat arus hubung singkat minimum.
2. *Directional overcurrent relay* mampu bekerja berdasarkan 2 kondisi arah arus yaitu *forward* atau *reverse*, hal tersebut tergambar dalam penentuan rele utama dan rele *backup*.
3. Optimasi yang dilakukan dengan menggunakan *genetic algorithm* mempunyai nilai total waktu operasi primer sebesar 9,3317 detik.
4. Metode *genetic algorithm* dapat digunakan untuk menala parameter rele arah arus lebih sehingga didapatkan koordinasi rele arah arus lebih yang optimal.

5.2 Saran

Dari hasil kesimpulan serta analisa yang telah dilakukan, penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Diperlukan studi kasus yang lebih nyata pada *plant* yang telah ada.
2. Untuk penelitian selanjutnya, program koordinasi proteksi ini dapat dilengkapi perhitungan aliran daya dan hubung singkat sehingga data-data tidak perlu diambil dari *software* ETAP.
3. Perlu dibandingkan dengan menggunakan metode selain algoritma genetika, agar didapat metode yang lebih efisien dalam proses algoritma dan kecepatan iterasi terhadap kasus optimasi koordinasi proteksi.
4. Untuk mendapatkan hasil CTI yang mendekati minimum, dapat digunakan model kurva lain, seperti *very inverse* atau *extremely inverse*

~Halaman ini sengaja dikosongkan~

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Gupta, Shubhrata and Singh, Dharmendra Kumar, "Use of Genetic Algorithms (GA) for Optimal Coordination of Directional Over Current Relays" Students Conference on Engineering and Systems (SCES), 2012, Allahabad, Uttar Pradesh.
- [2] Parmar, Jignesh "Types and Applications of Overcurrent" <URL: <http://electrical-engineering-portal.com/types-and-applications-of-overcurrent-relay-1>>, Desember, 2015.
- [3] Dinesh Birla, Rudra Prakash Maheshwari, dan Hari Om Gupta, "Time-Overcurrent Relay Coordination: A Review", International Journal of Emerging Electric Power Systems, (2005) Article 1039
- [4] Haupt.L , Haupt.E "*Practical Genetic Algorithm*", John Wiley, USA, Ch 3, 2004
- [5] D. E. Goldberg, *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Reading, Mass, Addison-Wesley Pub. Co.,1989
- [6] U.S. Department of Energy, "*The potential benefits of distributed generation and rate-related issues that may impede their expansion*", Feb. 2007
- [7] H. B. Elrafie, M.R. Irving, "*Linear programming for directional overcurrent relay coordination in interconnected power systems with constraint relaxation*", Electric Power Systems Research, 27 (1993) 209-216
- [8] Yeshwant G. Paithankar, S.R. Bhide, "Fundamental of Power System Protection", PHI Learning Pvt. Ltd. , Ch 2, 2010
- [9] Dondi P et al."Network Integration of Distributed Power Generation" Journal of Power Sources, Vol. 106, 2002.
- [10] Thomas Ackerman, Goran Andersson, Lennart Soder, *Distributed Generation: a definition*. Electric Power Systems Research 57, Elsevier, 2001, pp.195-204
- [11] Wahyudi, "*Diktat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik*", Teknik Elektro ITS, Surabaya, Bab 2, 200

- [12] Lazar irwin “*Electrical System Analysis and Design for Industrial Plant*”, McGraw-Hill Inc., USA, Ch, 1, 1980
- [13] Prashant P. Bedekar, Sudhir R. Bhide.”Optimum Coordination of Overcurrent Relay Timing Using Continuous Genetic Algorithm”

LAMPIRAN

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri – ITS

TE141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

Nama Mahasiswa : Muhammad Khairul Hakimi
Nomor Pokok : 2213 106 059
Bidang Studi : Teknik Sistem Tenaga
Tugas Diberikan : Semester Gasal 2015/2016
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
2. Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng.

15 SEP 2015

Judul Tugas Akhir : **Optimasi Koordinasi Proteksi Relay Arah Arus Lebih pada Sistem Distribusi Mesh dengan DG Menggunakan Algoritma Genetika** (*Optimal Protection Coordination of Directional Overcurrent Relays for Meshed Distribution Systems with DG Using Genetic Algorithm*)

URAIAN TUGAS AKHIR

Pengaman pada sistem tenaga listrik merupakan bagian penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan. Pengaman tenaga listrik dapat beroperasi akibat adanya koordinasi antara peralatan-peralatan pengaman yang ada pada sistem tenaga listrik. Salah satu peralatan pengaman tenaga listrik yang berfungsi sebagai pemberi perintah kepada CB (*Circuit Breaker*) agar dapat memutuskan atau menghubungkan beban dalam sistem tenaga listrik adalah relay.

Dalam Tugas Akhir ini akan membahas mengenai sebuah optimasi koordinasi proteksi pada sistem mesh yang memiliki 2 generator serta 1 DG untuk mencari sebuah setting waktu (TDS/TMS) dan arus *pick-up* (Ip/PS) dengan relay arah arus lebih (*Directional Overcurrent Relays*).

Umumnya, sebuah DG yang terintegrasi pada sebuah sistem memiliki beberapa pengaruh pada sistem tersebut, termasuk pada sistem proteksinya [3]. Untuk itu penulis akan membandingkan antara waktu operasi menggunakan DG dan waktu beroperasi tanpa menggunakan DG. Metode yang diajukan untuk mencari *setting* waktu dan arus pada tugas akhir ini adalah algoritma genetika dengan menggunakan *software* MATLAB.

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001

Dr. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng
NIP. 197309271998031004

Mengetahui,
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS
Ketua,

Menyetujui,
Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Koordinator,

Dr. Tri Arief Sardjono, ST., MT.
NIP. 197002121995121001

Dr. Ir. Soudibyo, M.MT.
NIP. 195512071980031004

~Halaman ini sengaja dikosongkan~

Arus pada Masing-Masing Relay

Rele no.	<i>Primer</i> (Ampere)	Rele no.	<i>Backup</i> (Ampere)
1	2510	6	2410
2	3480	1	950
2	3480	7	1120
3	3050	2	2450
4	2910	3	2020
5	2490	4	1890
6	4010	5	1480
6	4010	14	1120
7	3840	5	1480
7	3840	13	950
8	4010	7	1120
8	4010	9	1480
9	2490	10	1890
10	2910	11	2020
11	3050	12	2450
12	3480	13	950
12	3480	14	1120
13	2510	8	2410
14	3840	1	950
14	3840	9	1480

~Halaman ini sengaja dikosongkan~

RIWAYAT HIDUP



Muhammad Khairul Hakimi lahir di Jakarta pada tanggal 24 april 1993 akrab dipanggil kimi. Penulis mengawali pendidikan sekolah dasar di SDN 01 pejaten barat Jakarta selama 6 tahun, kemudian penulis melanjutkan pendidikan di SLTPN 107 Jakarta selama 3 tahun, setelahnya penulis melanjutkan pendidikan di MAN 13 Jakarta selama 3 tahun. Setelah lulus dari SMA/MA penulis melanjutkan pendidikan jenjang Diploma 3 di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) selama 3 tahun (2010 – 2013). Setelah lulus program Diploma 3, penulis melanjutkan kuliah program Sarjana Lintas Jalur (S1) di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Jurusan Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga. Semasa perkuliahan penulis aktif dalam seminar dan pelatihan. Untuk menghubungi penulis dapat melalui email : mkhairulhakimi@gmail.com